AUTOMATAS Y ROBOTS INDUSTRIALES

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA





BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

AUTOMATAS Y ROBOTS INDUSTRIALES



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-572-0 (Vol. 14)
D.L.: B. 9984-1986

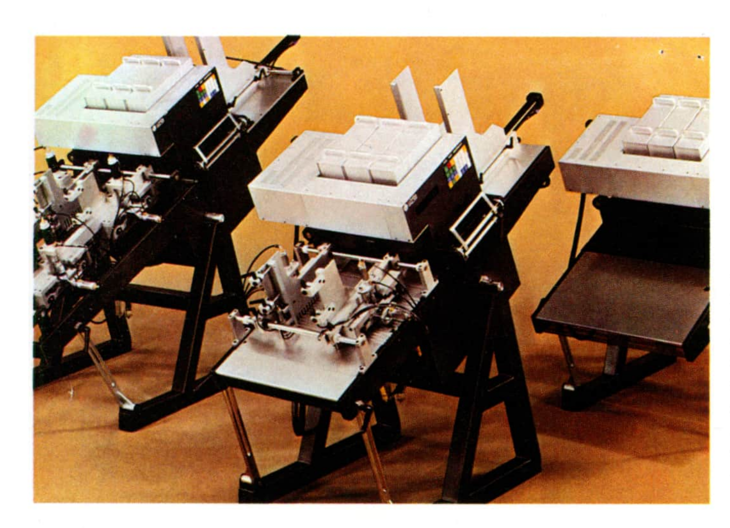
Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa Provenza, 388 08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts 1986

Printed in Spain

Autómatas y robots industriales

EVOLUCION DE LA INDUSTRIA MODERNA

Desde hace más de 150 años la revolución industrial se ha caracterizado por poner a disposición del hombre prodigiosas máquinas y energía que se ha considerado prácticamente inagotable y el hombre ha hecho uso de ellas a voluntad.

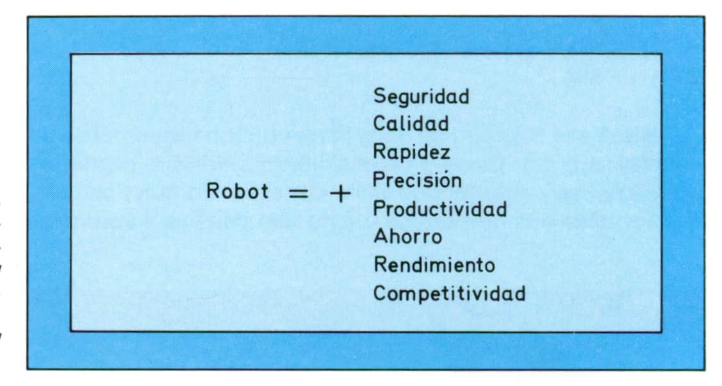


Los robots no tienen porqué tener formas espectaculares ni humanoides. En la fotografía puede verse una batería de manipuladores automáticos para ensamblar circuitos impresos.
(Cortesía: Aurki-Fagor)

Una segunda revolución industrial ha venido a dar respuesta a las nuevas necesidades que se han planteado: las dificultades energéticas, la carestía de la propia mano de obra, la superproducción que precisa el hombre para satisfacer sus necesidades, etc., han permitido la proliferación de sistemas «inteligentes» especializados.

El hombre, con su continua búsqueda de bienestar,

consigue que máquinas y equipos muy elaborados efectúen todas aquellas labores rutinarias o peligrosas. Interviene cada vez más en la concepción, construcción y mantenimiento de estos ingenios y sobre todo, aprende a explotarlos en beneficio de sus semejantes, mejorando consiguientemente la dignidad humana de ser pensante, dejando para sus



Las ventajas que aportan los robots son enormes; aquí se resumen las más importantes, aunque el resultado se observa mejor en la práctica, especialmente en el campo industrial.

amigos los *robots* la realización de tareas que no le son explícitamente propias.

La industria moderna tiende a utilizar los robots para abaratar costes, mejorar la calidad de vida del hombre, evitar riesgos, etc.

El futuro de los robots está ya abierto en un esplendoroso presente y un inconmensurable porvenir.

En este libro se han introducido aspectos ya conocidos, como son el control y la regulación electrónica, pero tratados desde el prisma distinto de la *robótica*, lo que permite aportar óptimas soluciones en el terreno de una producción industrial automática y versátil.

Desde este enfoque se muestra la estructura de un sistema robot, adentrándose en el detalle de cada uno de sus órganos, para pasar a estudiar cada una de las soluciones que las diversas tecnologías aportan.

Se tratan también los diferentes elementos de seguridad que se incorporan habitualmente en los robots, tanto para la protección intrínseca de los equipos y materiales que lo constituyen o manipulan como, claro está, de la integridad del operario.

Finalmente, se pasa revista a las diversas técnicas utilizadas de forma habitual para el diseño de robots aunque, como puede comprender bien el lector, su complejidad y alcance están lejos del objetivo de esta obra.



La complejidad de los sistemas computarizados de gobierno de algunos robots está abriendo paso a la creación de nuevas profesiones de alto nivel y bien retribuídas. El hombre precisa de sus mejores facultades intelectuales para controlar y programar el complejo panel de mandos que tiene enfrente.

¿POR QUE AUTOMATIZAR Y ROBOTIZAR?

Las razones que existen para automatizar y robotizar un proceso industrial son numerosas; entre ellas podemos citar como más significativas.

1) *La seguridad*

La complejidad de ciertas operaciones multiplica la

posibilidad de errores, de los que a veces puede resultar daño para el operador que realiza el trabajo.

2) *La calidad*

La constancia de un proceso depende de la posibilidad de mantener dentro de límites establecidos factores tales como la fatiga, la monotonía derivada de la repetición sistemática, etc.

3) *La rapidez*

En un robot se puede prever la realización de numerosas operaciones a partir de una ordenación constante y estricta, de forma que se evite reflexionar al final de cada operación para prevenir la que sigue a continuación.

4) *La precisión*

Los límites de la habilidad manual humana para procesos industriales pueden ser superados mediante aparatos y herramientas de gran complejidad.

5) *La optimización de los recursos industriales*

Al eliminar toda posible interrupción del proceso debida a factores humanos, la demanda de esfuerzo a las máquinas, no presenta, como en el caso del hombre, inconvenientes de tipo ético, moral o jurídico, y sí únicamente económico de manutención y puesta a punto.

6) *Reducción de las instalaciones*

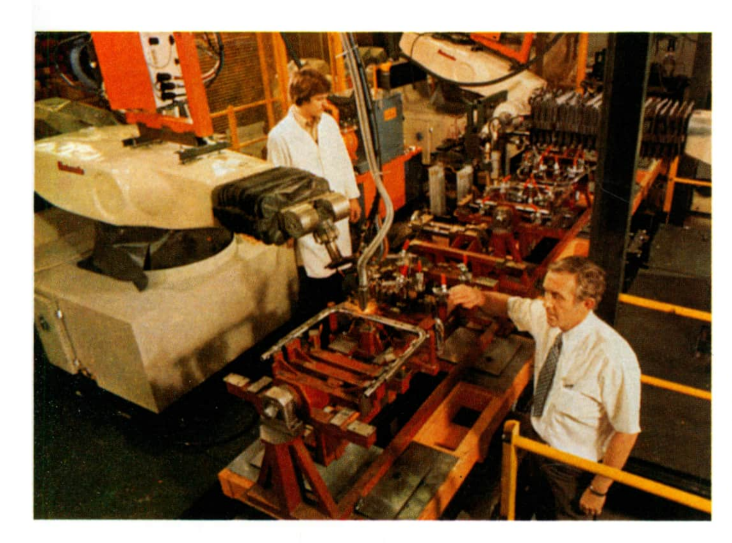
La infraestructura de la iluminación y calefacción por ejemplo, puede ser más simple en ambientes donde trabajen robots que en ambientes donde trabaje el hombre.

7) *Reducción de los costes*

Al reducir el factor mano de obra y permitir la competitividad industrial del usuario de robots, es posible mantener la propia continuidad empresarial y el subsiguiente mantenimiento de los puestos de trabajo adecuados.

En este punto conviene insistir en el factor social que la robótica conlleva. Suele imputarse al robot la responsabilidad de la desaparición de muchos puestos de trabajo al

sustituir al hombre en tareas normalmente repetitivas pesadas y peligrosas, pero nada más lejos de la realidad. La competitividad empresarial que aporta la robótica en el terreno industrial permite, como se ha dicho, el mantenimiento de muchos puestos de trabajo que no podrían conservarse si esta competitividad no tuviera lugar. Además, la concepción, diseño y fabricación de robots, exige la creación de industrias y empresas destinadas a construirlos y mantenerlos, permitiendo el desarrollo, aplicaciones y



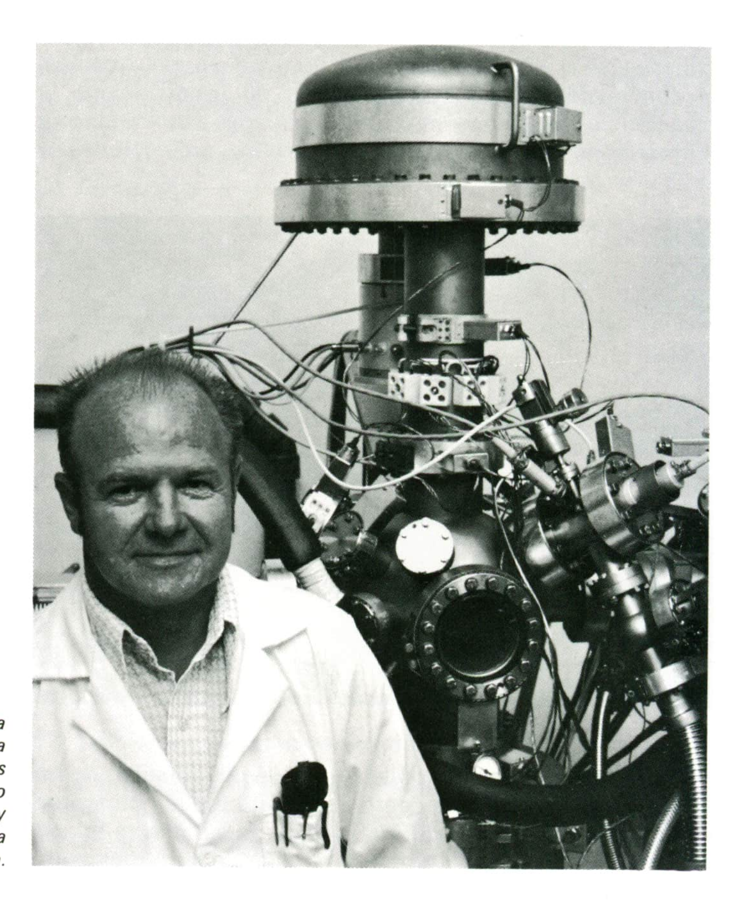
El robot ayuda al hombre en tareas duras, peligrosas o rutinarias. En la fotografía puede verse un robot para tareas de soldadura, fabricado por Unimation Inc.

avances de nuevas tecnologías que no evolucionarían de no existir la robótica. Países como Japón, donde el número de robots por cada 100.000 habitantes es el más alto del mundo, son los que presentan un índice de paro más bajo, un índice de inflación contenido y una agresividad comercial en productos manufacturados que hace que muchos países occidentales no puedan contener la penetración en sus mercados incluso empleando medidas proteccionistas.

CONSECUENCIAS DE LA AUTOMATIZACION

Los efectos de la automatización son de dos tipos,

industriales y sociales. Se han expuesto las razones de ambos a pesar de lo cual, conviene reflexionar sobre estos puntos desde ópticas distintas.



A pesar de lo que pueda indicar la fotografía, la similitud humana de los robots es más un tópico de la literatura y filmografía que una realidad cotidiana.

Las consecuencias del automatismo conllevan en principio la reducción de la mano de obra, lo que permite rapidez en las amortizaciones de los equipos, pudiéndose realizar nuevas inversiones que permitan avanzar en el progreso técnico.

Un equipamiento no tiene porqué durar muchas décadas como antaño sino que se espera de él sólo algunos años de

eficiencia, ya que será desbordado prontamente por las modernas tecnologías. La robotización, al ser considerada como una inversión de valor conocido y ya establecido, permite una evaluación exacta de las amortizaciones produciéndose el efecto anteriormente citado. Aunque la importancia de estos efectos es evidente, es la componente social por razones obvias la que más sensibilizada mantiene a la opinión pública.



Panel de mandos de un robot industrial. Los robots existentes en la actualidad requieren operarios capaces de programar con antelación las diferentes fases de trabajo.
(Cortesía: Aurki-Fagor).

A primera vista, por la reducción de los tiempos de fabricación y subsiguientemente de la mano de obra que la automatización entraña, parecería que la robótica, como se ha dicho, tuviera que ser la causa del paro creciente actual, y más preocupante en el futuro. No obstante tal como se ha dicho antes, muchas empresas, y con ello sus colaboradores, deben su puesto de trabajo a la aplicación de los robots en sus industrias, independientemente de los efectos indirectos del desarrollo en la aplicación de tecnologías de punta, etc.

Existen aún más aspectos positivos que permiten disculpar al robot y evitar convertirlo así en uno de los chivos expiatorios de los males de la industria moderna, tales como:
a) La evitación de riesgos al hombre.

b) La necesidad de creación de puestos de alta cualificación que permiten una mejor realización del ser humano y una mejora de la media de los niveles salariales y sociales.

c) Dado que los volúmenes globales de fabricación de los productos no son constantes, la disponibilidad de robots permite, sin coste social alguno, adaptar los procesos de producción a las cargas de trabajo.

d) La probable disminución de horas de trabajo que el hombre deberá realizar cuando el robot haga parte dé su trabajo.

Junto a los elementos preocupantes que la robotización pudiera contener existen, como se ha visto, muchos más argumentos positivos que hacen prever un incremento aún mayor de la robótica en la industria del futuro.

Automatizar o robotizar consiste en proceder al tratamiento automático de las informaciones, transmitir las decisiones resultantes del tratamiento automático de dichas informaciones y ejecutar tales decisiones mediante una acción o actividad concreta realizada por el autómata o robot.

METODOS DE AUTOMATIZACION

Para conseguir esto, existen dos soluciones posibles según el método empleado: el *analógico* y el *digital.*

En el método analógico las informaciones presentan el valor de magnitudes físicas que varian de forma continua como son una tensión eléctrica, la presión de un émbolo hidráulico, la temperatura de una caldera, etc. Estas magnitudes son enviadas al instrumental analógico clásico, como termómetros, manómetros, voltímetros, amperímetros, etc.

En el método numérico o digital, las informaciones señalan si la magnitud que se pretende automatizar existe o no, sin importar en principio su valor. Para poder transmitir una información digital, a un robot, es preciso adjudicar un valor arbitrario a cada una de las dos posibilidades o estados que puede presentar tal magnitud: un «1» si tal magnitud existe, y un «0» si no existe (figura 7).

El método digital, basado en un fundamento tan sencillo, podría parecer a primera vista simplista, pero no es así como el lector seguramente conoce. La variación de una magnitud física puede seguirse de manera digital con alta precisión de modo discontínuo no de una manera continua como ocurre con el método analógico.

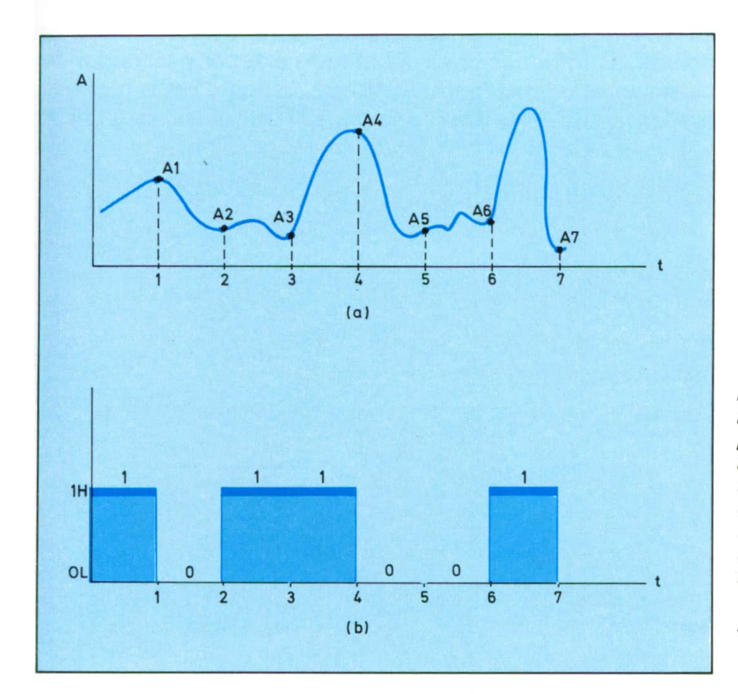


Figura 7. a) Una señal analógica es aquella que presenta un valor arbitrario a lo largo del tiempo, y de una forma continua;
b) Una señal digital es aquella que sólo presenta información de forma discontinua y ésta sólo puede alcanzar valores discretos, «unos» o «ceros».

El resto de la lección va a tratar sobre la estructura y los órganos de los *autómatas y robots*, así como de los distintos *elementos de maniobra* eléctricos, electrónicos, electromecánicos, hidráulicos, neumáticos, etc., imprescindibles para que el robot pueda ejecutar su trabajo.

ESTRUCTURA DE UNA MAQUINA AUTOMATICA

Dado que los autómatas y robots han sido creados para suplir al hombre en trabajos pesados y peligrosos, o en

aquellos donde los elevados índices de productividad exigidos superan la capacidad humana, suele imaginarse al robot con una apariencia humanoide, hecho que habitualmente no corresponde a la realidad. Sin embargo es apropiado asociar a los autómatas una estructura comparable a la del hombre, ya que un robot dispone de *órganos de mando, órganos de interconexión* y *órganos de ejecución.*

Los órganos de mando, asimilables al cerebro humano, reciben las informaciones del mundo exterior por medio de los sensores o transductores de que dispone. Estos órganos de mando son capaces de adquirir una experiencia, es decir, pueden memorizar dichas informaciones, y según el plan de trabajo, también memorizado, dar las órdenes oportunas para efectuar un movimiento.

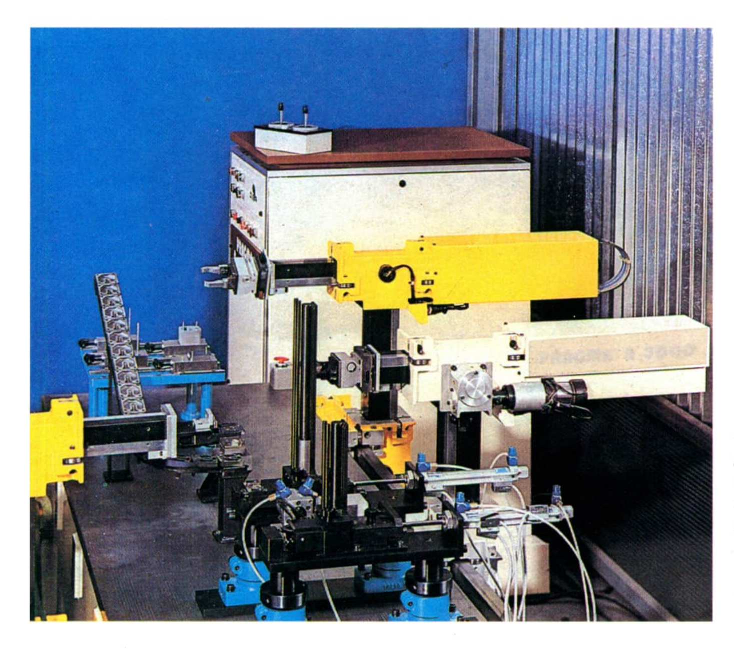


Diferentes tipos de digitalizadores de cotas preparados para accionar máquinas-herramienta y controlar todos los movimientos de las bancadas y herramientas. (Cortesía: Aurki-Fagor).

Los órganos de interconexión permiten la transmisión a los órganos de mando de las informaciones recogidas en los transductores (los sentidos en el hombre) y a los órganos de ejecución desde los órganos de mando. El símil más adecuado en relación al cuerpo humano, es el sistema nervioso.

Los órganos de ejecución cumplen directamente, sobre la

máquina o siguiendo un proceso industrial, las instrucciones recibidas por los órganos de mando. Los *sensores* o transductores forman una familia de componentes periféricos de la unidad de mando y están íntimamente relacionados con ella. Por ello se han citado aparte de la estructura del autómata en el sentido que sólo los necesita para recibir información del mundo exterior y no como parte intrínseca del robot.



Robot ensamblador programable para manipulación y montajes mecánicos. Este tipo de robots puede adaptarse a muchos tipos de aplicaciones empleando diferentes cabezales. (Cortesía: Pragma).

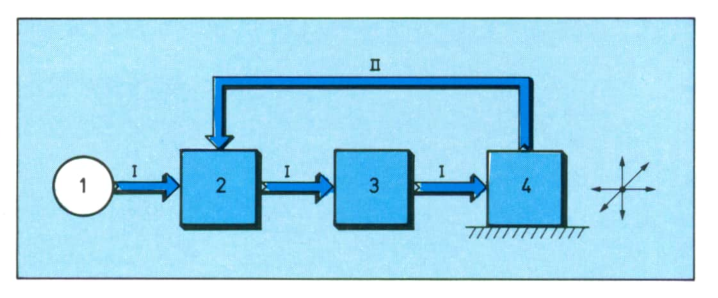
Un ejemplo doméstico aclarará mejor los conceptos expuestos. Imaginemos una lavadora automática que toma el detergente, lava, aclara y escurre la ropa automáticamente, según unos ciclos de operación preestablecidos. El órgano de mando está constituido por el selector de levas electromecánico que acciona los órganos de ejecución a intervalos adecuados, de tiempo. El selector u órgano de mando, recibe las informaciones del nivel de agua y del termostato que le indican cuándo debe enviar agua al tambor o cuándo debe conectar el elemento calefactor. Las órdenes dadas por el

selector están en función de las órdenes dadas por el operador antes de iniciar el proceso, o sea, del programa de trabajo, y también son función de las señales recibidas por los sensores u órganos de detección. Evidentemente en el caso del ejemplo los órganos de interconexión serán cableados y conducciones eléctricas que permiten la libre circulación de todas las señales que deban transmitirse entre los distintos órganos y el exterior.

Los órganos de ejecución serán, en este caso, el motor eléctrico responsable del giro del tambor, las resistencias de calefacción del agua y las electroválvulas y bombas de llenado y vaciado, etc.

CLASIFICACION DE LOS AUTOMATISMOS

A partir de la información recibida por los órganos de mando, las máquinas automáticas se pueden clasificar en dos categorías, máquinas de *lazo abierto* y de *lazo cerrado*.

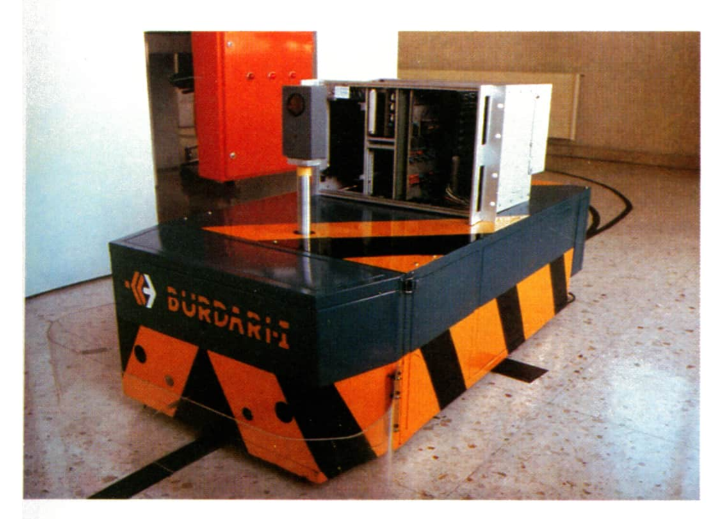


Estructura básica de un sistema robot o autómata. (I) Organos de interconexión: 1) Operador o programador; 2) Organo de mando; 3) Organo de ejecución; 4) Objeto manipulado por el dispositivo robot. (II) Organos de interconexión que aportan a los órganos de mando las señales de las magnitudes detectadas por los sensores. Si el robot no presenta el órgano de interconexión II, se denomina de lazo abierto.

Las máquinas de lazo o bucle abierto son aquellas que no reciben otras órdenes que las suministradas por el operador. Estas órdenes son dadas con anterioridad y registradas en la máquina en forma de programa que regula el orden de las secuencias y el tiempo de cada una de ellas. Una vez se ha dado la señal de marcha, todas las operaciones se suceden hasta el final sin ninguna otra intervención, salvo modificaciones introducidas por el propio operador. El robot es incapaz por sí mismo de modificar sus actividades en función de otras informaciones distintas de las introducidas en el programa que se ejecuta, sigue sus secuencias

independientemente de las acciones que en cada caso ejecute dicho robot.

Las máquinas de lazo o bucle cerrado reciben informaciones de los órganos comandados. Estos datos son utilizados inmediatamente o bien se almacenan en una memoria para poner en marcha las secuencias sucesivas. El programa de trabajo también puede ser previsto con antelación pero sólo regula el orden de las operaciones.



Vehículo robotizado que se desplaza de acuerdo con unas premisas programadas de antemano y a las que puede responder «inteligentemente» cuando se encuentra con algún obstáculo que salvar. (Cortesía: Aurki-Fagor).

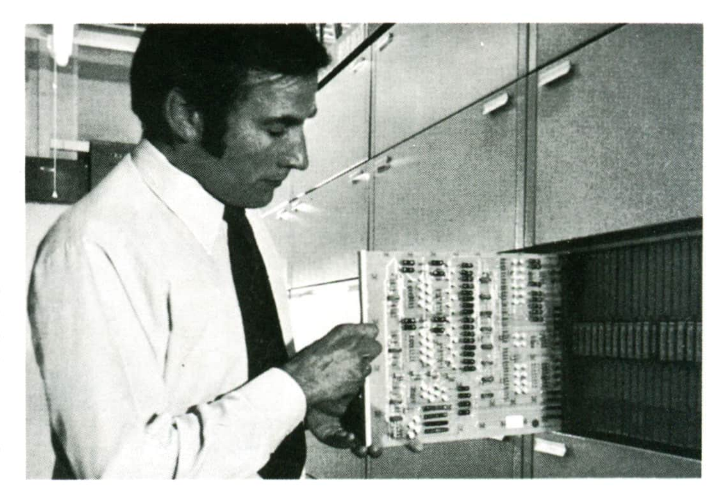
Sencillos ejemplos permitirán mejorar la comprensión de estos conceptos. Un modelo de robot de lazo abierto es el control secuencial de encendido de las luces verde, ambar y amarilla de un semáforo cuya frecuencia y temporización sea fija en función de las bases de tiempo de los distintos períodos de encendido y apagado de cada una de las luces. Un ejemplo de robot de lazo cerrado es el mismo sistema de cambio de luces con las bases de tiempo de cada uno de los colores modificados en función del tráfico circulante en cada instante.

ORGANOS DE MANDO

El órgano de mando de un autómata o robot constituye un

sistema, a menudo complejo, responsable de las principales funciones del automatismo y que utiliza distintas técnicas para desempeñarlas.

Las funciones que desarrollan los órganos de mando son: *detección*, a partir de los sensores exteriores; *memorización* a través de los sistemas de almacenamiento de información; *programación*, mediante sistemas de diálogo con el programador más o menos potente; *mando* externo e interno, a través de los elementos correspondientes; *seguridad y control* mediante los dispositivos de vigilancia que equipa, etc.



Los grupos de memoria electrónica suelen desarrollarse en tarjetas de circuito impreso ampliables. Disposición en rack, facilitando su acceso, sustitución y ampliación de la memoria.

En el caso de autómatas o robots de lazo cerrado, la detección consiste en recibir información relativa, por ejemplo, a la posición del elemento comandado sobre el estado físico del proceso controlado, etc. Estas informaciones son proporcionadas en forma analógica o numérica. El órgano de comando dispone de los correspondientes convertidores A/D para, en su caso, digitalizar la información de modo que pueda ser procesada.

La memorización se llevará a cabo cuando la información recibida no deba ser utilizada de forma inmediata sino que deba mantenerse en memoria un cierto tiempo para procesarla posteriormente.

Las ayudas a la programación y la proliferación de lenguajes de alto nivel que utilizan los órganos de mando de los robots cada vez con más frecuencia, constituyen una ayuda incuestionable a la programación y una característica altamente apreciada por los usuarios de autómatas. Las funciones de mando externo e interno se realizan a través de elementos adecuados de accionamiento: pulsadores, pedales, contactores, relés, distribuidores hidráulicos o neumáticos, etc.



Amplio muestrario de elementos neumáticos utilizados en los robots industriales. Se observan grupos de filtraje, electroválvulas, válvulas para fluidos y elementos de minineumática.

Las funciones de seguridad y control están también realizadas por sistemas específicos equipados con los órganos de mando, manómetros de seguridad, termómetros, fusibles, relés de protección, etc.

Como se ha expuesto antes, los órganos de mando son capaces de realizar determinadas funciones y pueden estar configurados en distintas tecnologías. En la práctica, un robot incorpora las diversas tecnologías disponibles para optimizar su funcionamiento.

Según su tecnología de funcionamiento, los órganos de mando pueden ser:

a) *Mecánicos*

Utilizan levas, engranajes, escobillas, etc. Estos tipos están cayendo en desuso por su elevado coste y poca flexibilidad de maniobra.

b) *Neumáticos e hidráulicos*

Emplean fluidos encerrados y sometidos a presiones elevadas. Proliferan enormemente en los robots habida cuenta la existencia en el mercado de muchos elementos normalizados de fácil adaptación a las necesidades específicas que se plantean.

c) *Eléctricos*

Se valen de corrientes y tensiones elevadas. Son de uso frecuente combinados con pequeños mecanismos, dando lugar a sistemas electromecánicos.

d) *Electrónicos*

Son los más utilizados y de más claro futuro para los órganos de mando. Se caracterizan por manejar intensidades y tensiones de pequeño valor.

En un robot suelen coexistir más de una de las tecnologías expuestas anteriormente.

SISTEMAS DE INTERCONEXION

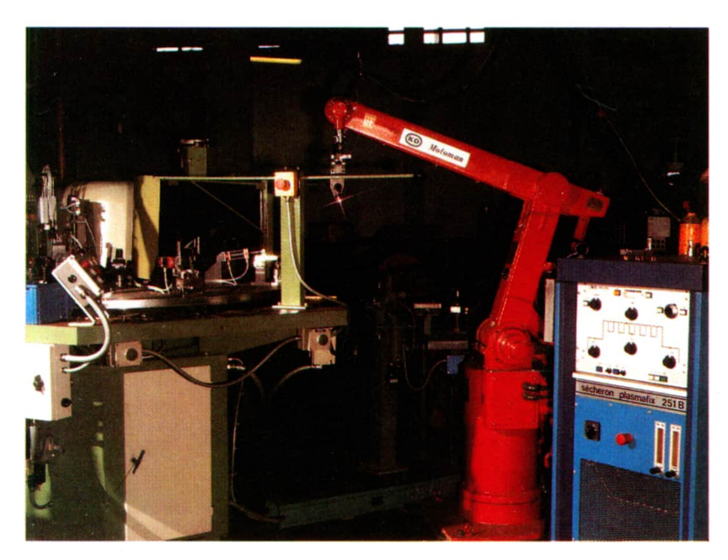
Las funciones del sistema u órgano de interconexión son las de asegurar la transmisión de las órdenes entre los

órganos de mando y los de trabajo, sean de ejecución o transductores de detección.

Las tecnologías usadas para estos sistemas de interconexión, por razones obvias de compatibilidad tecnológica son similares a las que forman los órganos de mando. Podemos establecer los siguientes grupos:

a) *Mecánicos*

Este grupo incluye cables, alargos, levas, excéntricas, árboles, cigüeñales, etc. Por las mismas razones citadas antes han caído en desuso aunque su utilización todavía es conveniente en algunas aplicaciones.



Ejemplo de robot angular de cinco ejes para aplicaciones de microsoldadura por plasma. (Cortesía: Unidad hermética). La fábrica catalana, constituye posiblemente el exponente más representativo de industria automatizada del país.

b) *Neumáticos e hidráulicos*

Están formados por canalizaciones con sus correspondientes órganos de bifurcación y ramificación. Los tubos de materiales plásticos de alta robustez y los racors, así como los elementos de valvulería correspondientes, constituyen la base de los sistemas de interconexión en el terreno neumático. Para los sistemas hidráulicos de transmisión se utilizan los mismos elementos aunque han de ser de materiales más resistentes.

c) Eléctricos y electrónicos

Son los más usados por su economía, facilidad de instalación y mantenimiento y están constituidos por los sistemas cableados, fibras ópticas, circuitos flexibles, etc.

ORGANOS DE TRABAJO

Los órganos de trabajo o ejecución actuán directamente sobre el elemento a gobernar, por ejemplo la apertura o cierre de una válvula, el giro de un plato rotativo de fijación de piezas, etc.

En cualquier caso se trata de producir un movimiento capaz de ejecutar una maniobra preconcebida de giro o de traslación, empleando para ello un par o una fuerza.

El par o la fuerza deben ser regulables en intensidad para obtener la función de movimiento que se precise.

Al igual que en los casos anteriores, los órganos de ejecución o de trabajo se presentan en diferentes tecnologías:

a) Mecánica

Puede consistir en la liberación de un resorte, la acción de un peso, etc. Está prácticamente en desuso.

b) Neumática e hidráulica

Producida por el empuje de un fluido, bien sea líquido o gaseoso, sometido a presión. Muy usada.

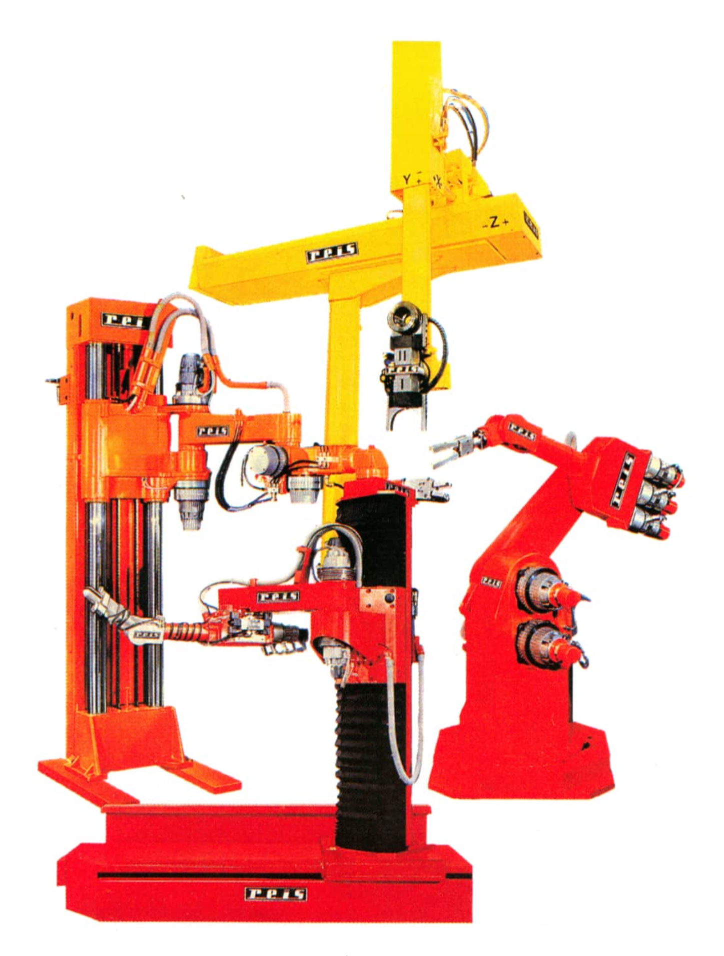
c) Eléctrica

Emplea un electroimán, electroválvula, motor, etc. Muy usada, en dura competencia con los sistemas u órganos de trabajo neumáticos e hidráulicos.

ELEMENTOS DE MANIOBRA ELECTRICOS

Los elementos de maniobra de tipo eléctrico tienen dos funciones, por un lado son sistemas que recogen la información debida a la variación de una magnitud física de la pieza o sistema manipulado por el robot, (nivel de un

líquido, temperatura o presión, velocidad de un árbol, rotativo etc.), y por otro actuán ejecutando alguna operación a maniobra ordenada por el órgano de control, (apertura o cierre de una electroválvula, accionamento de un útil de taladrado, etc.).

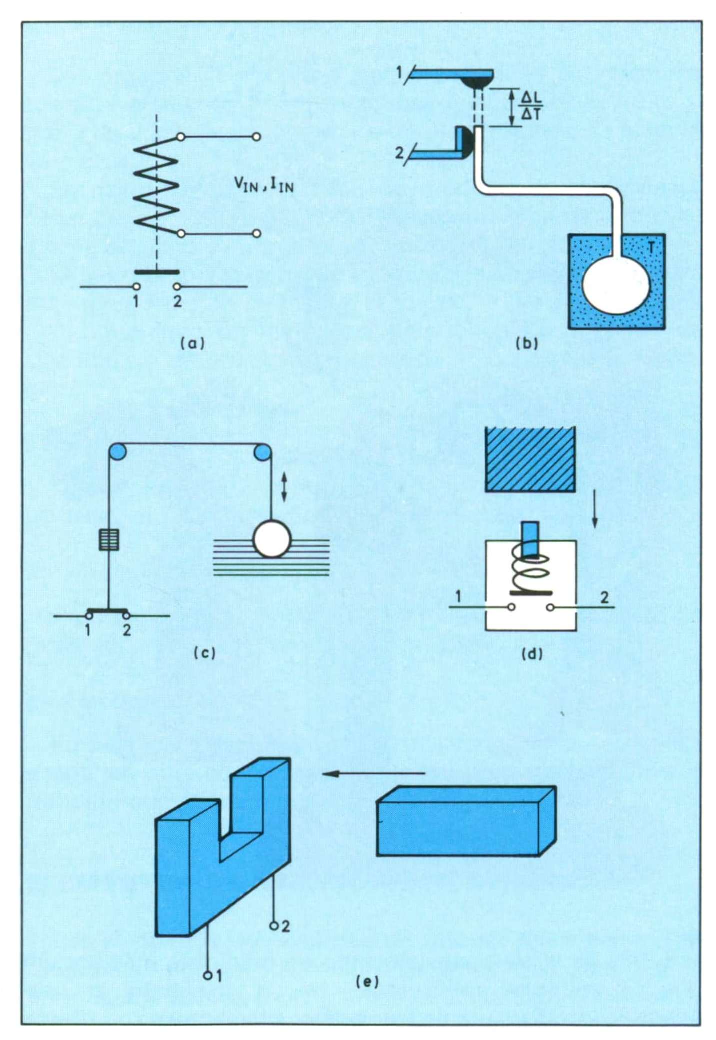


Algunos modelos de robots para aplicaciones varias. Se representan desde los que realizan funciones típicas de carga y descarga, hasta aquellos capaces de efectuar maniobras de ensamblajes de precisión. (Cortesía: Robots Tarragona).

El relé es el elemento eléctrico de maniobra más común por sus múltiples aplicaciones. No se va a tratar en este apartado la estructura de estos dispositivos pues son objeto

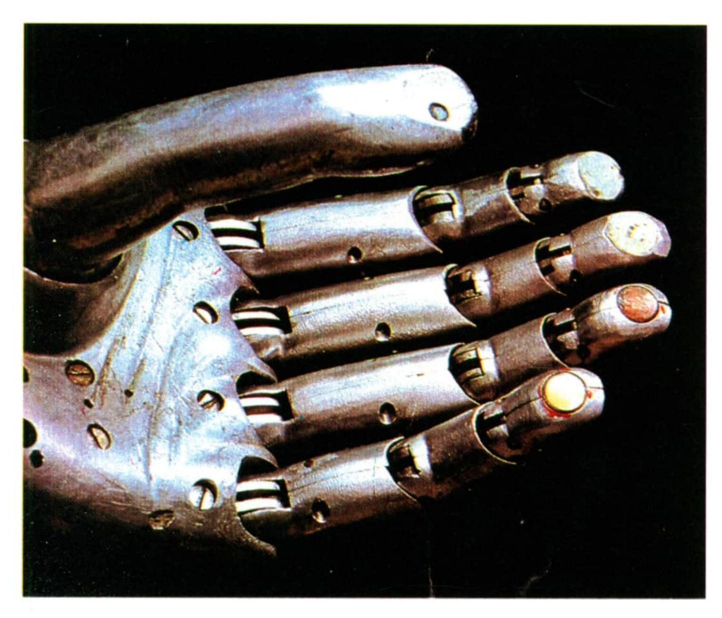
de estudio detallado en otro libro de esta obra; únicamente se expondrán aquí sus principios y su utilización.

Existen relés aplicados a robots que pueden clasificarse en varias categorías según sean: activados por la variación de una magnitud física o por la posición del objeto que está tratando el robot, se efectúe o no un contacto mecánico.



Esquema sinóptico del funcionamiento de diferentes tipos de relés:
a) Activado por los niveles de señal eléctrica aplicada a los bornes de entrada;
b) Activado por la dilatación producida por la temperatura de un elemento bimetálico;
c) Activado por la posición del nivel de un líquido;
d) Activado por el empuje de un elemento que se desplaza;
e) Activado por la variación de reluctancia del entrehierro al pasar por el campo un elemento perturbador.

Dentro de la primera categoría se pueden incluir los *relés de intensidad*, de *tensión* y de *potencia.* Estos aparatos entregan una señal cuando cualquiera de estas tres magnitudes eléctricas supera un cierto umbral, ya sea por defecto o por exceso. Equipan un órgano motor que es sensible a las variaciones de estas magnitudes, y es un juego de contactos abriéndose y cerrándose el que permite obtener la señal proporcionada por este dispositivo. Este órgano motor puede estar constituido por un sistema galvanométrico de bobina o cuadro móvil o como sucede en los modernos dispositivos electrónicos de estado sólido, por un sistema comparador de máxima o mínima ya sea analógico o digital.



Prótesis de una mano mecánica utilizada en algunos experimentos con robots de la próxima generación. Nótese la existencia de captadores sensitivos en la punta de los dedos para recoger «información» de todo lo que toca la mano.

Siguiendo con los relés activados por la variación de una magnitud física se encuentran los *relés de temperatura* (termostatos) y los *relés de presión* (manostatos). Los clásicos sistemas electromecánicos, cuya conmutación se efectúa por la dilatación de un bimetal o la deformación de una sonda manométrica, son sustituidos por los modernos termostatos y manómetros electrónicos con sondas a base

de termopares, termorresistencia o cualquier otro dispositivo cuyas características eléctricas varíen regularmente con la temperatura o la presión.

Los *relés tacométricos* (de velocidad) constituyen otro elemento de maniobra electromecánico de gran interés. También aquí, los clásicos sistemas de resortes y los generadores tacométricos de estado sólido, provistos de captadores sin contactos proporcionan una señal cuando se sobrepasan en exceso o en defecto los umbrales de velocidad prefijados. Además otras muchas magnitudes físicas pueden dar lugar a la activación de un relé o sistema de conmutación de máxima y/o mínima.

En cuanto a la segunda categoría, o sea la de los relés de posición, se pueden considerar los de nivel y los de final de carrera.

Los *relés de nivel* son aparatos que emiten una señal cuando el nivel de un líquido alcanza un nivel máximo o mínimo. El tradicional sistema de flotador está siendo sustituido por sofisticadas sondas ultrasónicas que permiten detectar por reflexión acústica si el nivel del líquido que se pretende medir está dentro o fuera de los márgenes prefijados.

Los *relés de final de carrera* actuán cuando el objeto manipulado por el robot o una parte de él pasa por un punto determinado de su trayectoria. El órgano de detección de este tipo de dispositivos es un interruptor que está abierto o cerrado en función de la acción mecánica del objeto o de la parte móvil del robot en su desplazamiento.

Dentro de la misma familia existen, los llamados *relés de proximidad.*

Además de los tipos de relés expuestos en las líneas anteriores, existen sistemas de mando electrónico más sencillos, manuales como los *pulsadores,* o automáticos como los *contactores.*

Los elementos eléctricos de maniobra, incluidos en los órganos de ejecución, suelen ser elementos de potencia preparados para realizar las acciones para la que están concebidos; los más significativos son los electroimanes y los motores.

En los electroimanes usados en robótica deben considerarse diversos factores en el momento de su elección, entre ellos se destacan por su importancia:

a) La naturaleza del movimiento a obtener, en cuyo caso se

podrán usar los de armadura pivotante o los de núcleo móvil según convenga.

b) La corriente, sea continua o alterna. Para esfuerzos importantes se prefiere la corriente continua.

c) La utilización continuada o intermitente, que puede comportar el calentamiento del bobinado y el posible perjuicio funcional al resto del robot.

d) Rapidez de funcionamiento, que dependerá de la constante L/R de la bobina.



Brazo manipulador concebido para aplicaciones de pintura en las cadenas de montaje. El robot va gobernado por un sistema numérico programable y no sufre la contaminación que tendrían las personas que efectuaran directamente esta labor. El robot se pone en fase de «aprender», mientras un obrero cualificado manipula el cabezal como lo hace ordinariamente; el robot «memoriza» los movimientos, que luego repetirá una y otra vez al ser instalado en la cadena de pintura.

Las aplicaciones de los electroimanes en el terreno de la robótica son muy numerosas. Por citar las más significativas, hablaremos del mando de electroválvulas de los embragues y frenos electromagnéticos, de los percutores de impacto, etc. Los motores son sistemas ampliamente utilizados en los autómatas y robots, sin entrar en profundidad en el estudio teórico y funcional de éstos se van a establecer las

diferencias fundamentales entre los tipos más usados así como los criterios que conviene seguir para escoger adecuadamente el motor apropiado para cada autómata o robot.

Los motores pueden ser de corriente continua o de corriente alterna. En los motores de corriente continua, el par es proporcional a la intensidad absorbida y la velocidad depende de la tensión de alimentación. Estos motores son muy apropiados para su utilización en aquellos casos en los que el control de la velocidad del motor sea una característica fundamental. Para su arranque precisan resistencias adicionales en el inducido que deberán ser retiradas progresivamente cuando comience a trabajar. Esta operación se efectúa mediante un reostato de arranque o caja de resistencia.

El control de velocidad tiene lugar, como se ha dicho antes, adecuando la tensión de alimentación del motor, o también modificando el flujo magnético mediante un reostato de campo.

Los *sistemas de frenada* pueden ser mediante freno por reostato, freno electromagnético o freno contracorriente.

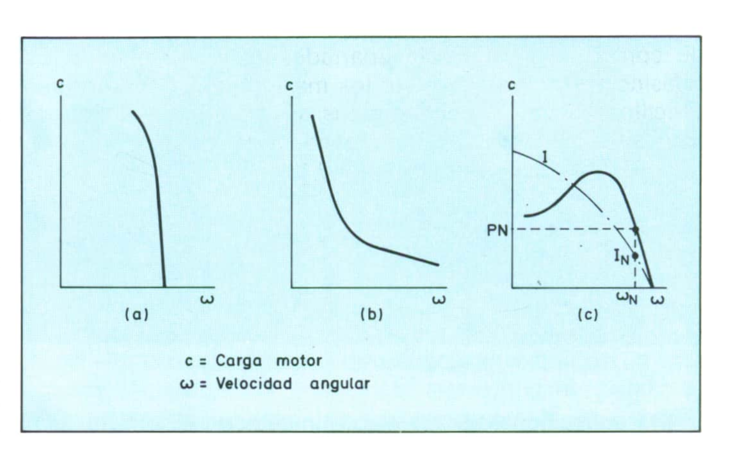


Figura 19. Curvas características sintetizadas de la carga (ordenadas), en función de la velocidad angular (abscisas) de diferentes tipos de motores: a) Motor shunt; b) Motor serie; c) Motor asíncrono; PN = par nominal; ω_N = velocidad angular nominal; I = intensidad; I_N = intensidad nominal.

La inversión del sentido de la marcha se realiza invirtiendo la circulación de la corriente en el inductor y en el inducido.

Según sea el modo de excitación, los motores de corriente continua pueden ser de los tipos *shunt*, *serie* y *compuesto*.

En los motores de tipo shunt, para una tensión constante la velocidad permanece prácticamente constante, sea cual sea la carga. Es el tipo de motor más adecuado para su utilización en sistemas robotizados en que la velocidad debe permanecer sensiblemente invariable (figura 19*a*).

En los motores de tipo serie, el par de arranque es muy elevado y la velocidad varía inversamente con la carga. Este tipo de motores, que se embalan en vacío, son apropiados en sistemas de tracción, elevación, etc., es decir, en operaciones en las que el robot deba manejar la carga que le corresponda por su trabajo (figura 19*b*).

Los motores compuestos, con propiedades intermedias entre las citadas en los dos párrafos anteriores, poseen un par de arranque elevado que les permite trabajar con pequeñas cargas sin producir embalamiento. Su uso en autómatas y robots es importante ya que permite, manteniendo el esfuerzo de una determinada carga, movimientos a diferentes velocidades en los dos sentidos porque su funcionalidad les permite combinar las cualidades de los dos tipos anteriores, haciéndolos sumamente versátiles. Los movimientos alternativos y variables son las aplicaciones más frecuentes de estos motores.

Pasando revista a la otra familia de motores, esto es, a los de corriente alterna, este apartado se va a referir a los trifásicos asíncronos por ser los más usados. Son motores sencillos, robustos y económicos, y constituyen el tipo de dispositivo empleado normalmente cuando no se exigen consideraciones rigurosas o especiales para la utilización de motores. (figura 19*c*).

Este tipo de motores demanda gran intensidad en el momento del arranque por lo que debe procurarse disminuir ésta en dicho instante. Esto se logra mediante configuraciones en estrella, en triángulo, autotransformadores, etc.

Las características de variación de velocidad y frenado son también peculiares en este tipo de motores; utilizando frenos electromagnéticos, inyección de corriente continua al estator, etc.

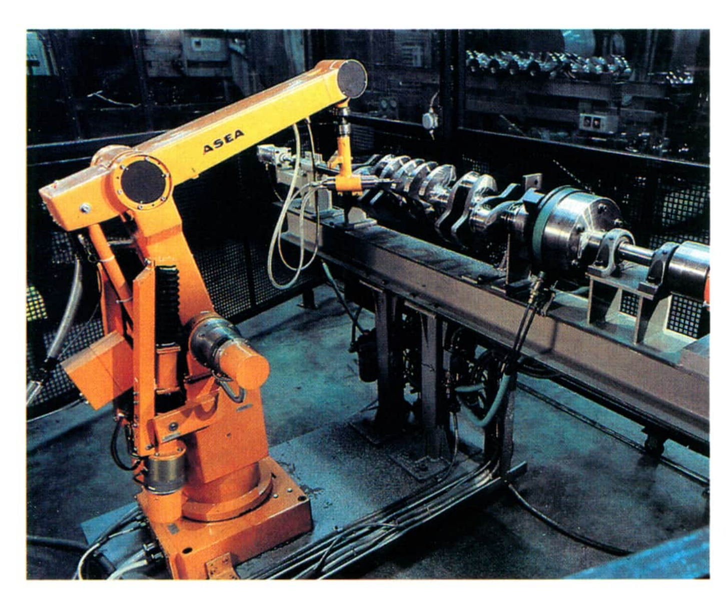
Las características de trabajo de un determinado motor se concretan en el conocimiento de las variables par resistente en el arranque y funcionamiento normal así como las diferentes variaciones de velocidad que pudieran producirse, potencia absorbida máxima en régimen normal de trabajo, etc.

En cuanto a la potencia, convendrá asegurarse de que existe un margen suficiente para garantizar el buen funcionamiento del motor, evitando su funcionamiento continuado en régimen de esfuerzo excesivo. Las posibles pérdidas de rendimiento y las sobrecargas a que pueda ser sometido el motor deberán tenerse en cuenta para conseguir alargar su duración. Cuando los picos de potencia máxima sean de muy corta duración podrá adaptarse, la potencia del motor a la potencia de trabajo normal adoptando las precauciones señaladas antes. La velocidad de trabajo del motor, y sus



Autómata programable que puede emplearse para la gestión de máquinas, en el taller, control de procesos industriales o en la optimización de la fabricación. Puede utilizarse en todo tipo de industrias manufactureras o transformadoras, desde el textil a la alimentación.

posibles variaciones, es uno de los factores al que mayor atención conviene prestar en el momento de seleccionar un motor para ser utilizado para un robot. Un análisis incorrecto de este factor conllevaría problemas funcionales con averías continuas quedando en entredicho la rentabilidad del robot.



Los robots pueden ser unos buenos complementos para las máquinas-herramientas, sobre todo en lo que hace referencia a la manipulación de piezas pesadas, calientes, con aristas cortantes, etc.

Ya se ha expuesto antes que cada tipo de motor presenta, por su tecnología, un comportamiento distinto respecto al mantenimiento o variación de la velocidad en función de la carga resistente o de la potencia aplicada al motor.

El conocimiento exacto del par resistente si va a ser fijo o va a modificarse en el funcionamiento del motor, es otro factor fundamental a tener en cuenta para una selección adecuada. Una decisión correcta exige conocer el valor del par resistente en el momento del arranque, la variación de dicho par en marcha según sea la velocidad y el tiempo, el valor del par de la frenada, etc. Todos estos factores permitirán escoger el tipo de motor y el sistema de arranque a utilizar.

La variación de la velocidad necesaria en el proceso en el que va a utilizarse el motor puede ser continua o discontinua

según la característica de estas variaciones, además de seleccionar adecuadamente el motor a utilizar, se podrá escoger el tipo de sistema de control de velocidad que puede ser caja reostática, variador electrónico, etc.

El hecho de que el motor que se valore deba trabajar en régimen continuo o intermitente, en atmósferas polutas, corrosivas, con elevado índice de humedad, vibraciones, etc. aportará consideraciones de elevado valor práctico que el ingeniero de proyecto o mantenimiento deberá tener en cuenta a la hora de decidir un tipo u otro de motor. Actualmente, los fabricantes de motores apoyan la distribución de sus productos en una exhaustiva información técnica que le permite conocer al usuario cuál sería el comportamiento de tales motores en las condiciones de trabajo previstas.

Evidentemente, el precio es también un factor importante a considerar en la elección de un motor.

En este apartado no se van a tratar los componentes de maniobra electrónicos, ya que no son en sí generadores de movimiento y además los dispositivos de potencia se estudian con detalle en otros libros de la obra.

ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y CONTROL ELECTRICOS DE LOS AUTOMATISMOS Y ROBOTS

Para la mejora de la seguridad de los robots dentro del mando de los componentes eléctricos, deberán de considerarse los siguientes factores:

a) Protección de los circuitos de potencia mediante contactores, relés magnetotérmicos, disyuntores, fusibles, etc.

b) Posibilidad de detener cualquier acción del robot mediante un pulsador de emergencia con absoluta prioridad sobre todo el sistema.

c) Imposibilidad de realizar simultáneamente dos movimientos contradictorios o cuya combinación pueda entrañar riesgo.

d) Prever sistemas de mando eléctricos que permitan maniobras de emergencia.

e) Sistemas de detección de temperatura máxima en los puntos calientes del robot con accionamiento automático del sistema de paro.

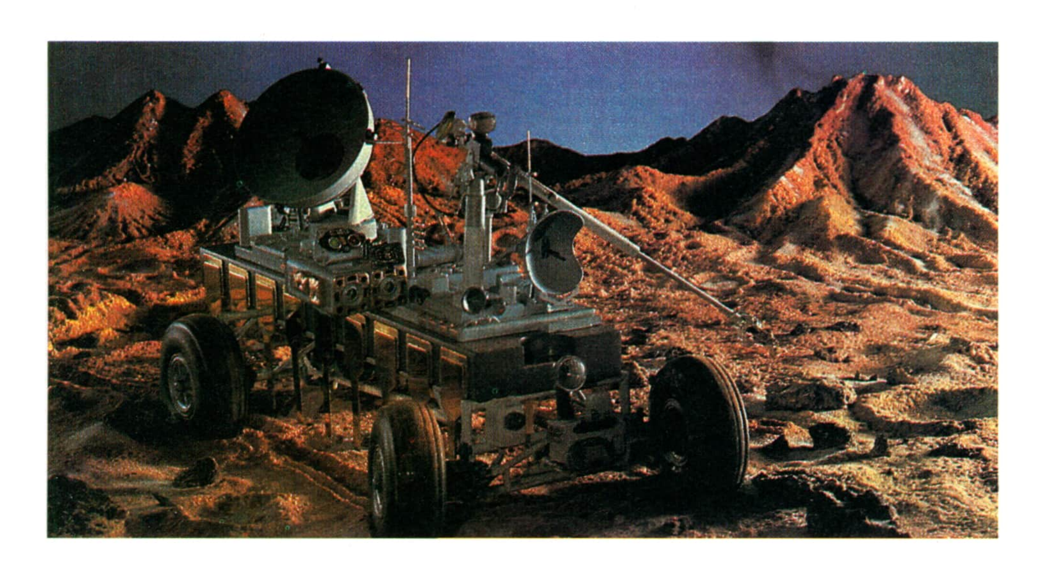
Otras medidas no genéricas como las señaladas en este

apartado, deberán ser tenidas en cuenta por los ingenieros de proyecto en aquellos casos en los que exista riesgo para el hombre o para el propio proceso, por razones de índole humanitaria en el primer caso y económicas en el segundo.

Vehículo espacial robotizado, capaz de desplazarse en la superficie de la Luna o de otro cuerpo celeste. Puede ser controlado a distancia y sus accesorios, neumáticos o hidráulicos, son capaces de responder a los estímulos enviados desde el centro de control de la Tierra o desde una nave espacial.

ELEMENTOS DE MANIOBRA HIDRAULICOS

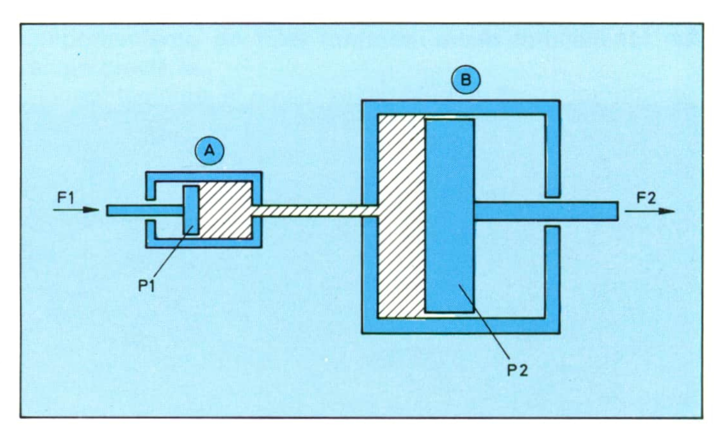
Existen tecnologías distintas a la eléctrica capaces de proporcionar movimientos adecuados para las maniobras y actividades que deben efectuar los robots. En realidad, como ya se dicho, en un robot confluyen una combinación de todas o algunas de ellas, con el objetivo de optimizar la funcionalidad de dicho robot.



Habida cuenta que ésta es una obra especializada en electrónica, a cuyos lectores se les supone en posesión de conocimientos básicos sobre esta materia, se van a tratar en los próximos apartados los fundamentos y aplicaciones de los dispositivos hidráulicos y neumáticos apoyándose en fundamentos básicos que el lector no debe necesariamente conocer con antelación, pero que son de todo punto imprescindibles para la correcta interpretación de la capaci-

dad de movimientos y maniobras de que disponen los robots.

Considérense dos cilindros, *A* y *B*, en los que pueden desplazarse émbolos y cuyo espacio interior está lleno de un determinado líquido. Si se empuja sobre el émbolo P_1 con una fuerza F_1, el líquido transmitirá la presión al émbolo P_2, resultando en su émbolo un empuje F_2. Siendo S_1 y S_2 las superficies de los cilindros *A* y *B* respectivamente, dado que la presión en ambos cilindros será la misma, resultará que $F_1/S_1 = F_2/S_2 =$ presión. Resulta evidente la amplificación de esfuerzos que se conseguirá con este tipo de dispositivos,



Principio fundamental de la hidráulica: $p = F_1/S_1 = F_2/S_2$; A y B representan dos pistones conteniendo a la izquierda y a la derecha de los émbolos P_2 y P_1, respectivamente, un determinado fluido que es el responsable de la transmisión hidráulica.

combinando adecuadamente los empujes aplicados a cada uno de los émbolos y las superficies de sus cilindros respectivos.

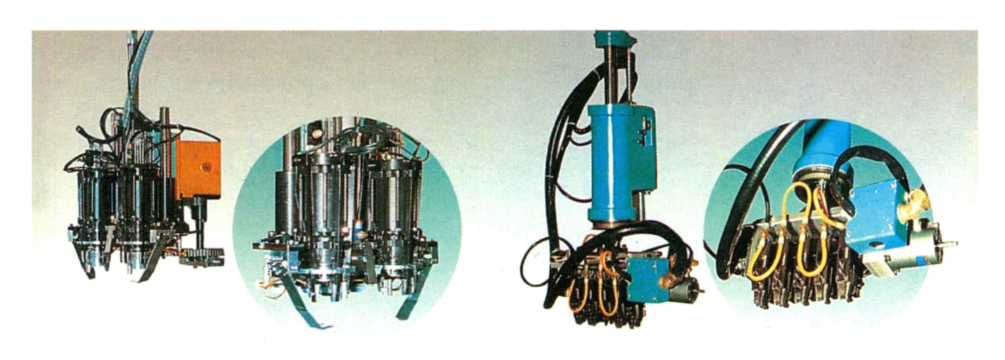
Dado que los líquidos apenas son compresibles, no puede almacenarse energía en forma de líquido comprimido. Esto hace imprescindible comprimir el líquido a medida que se utiliza. Habida cuenta esta incompresibilidad de los líquidos, no es difícil obtener presiones y esfuerzos elevados.

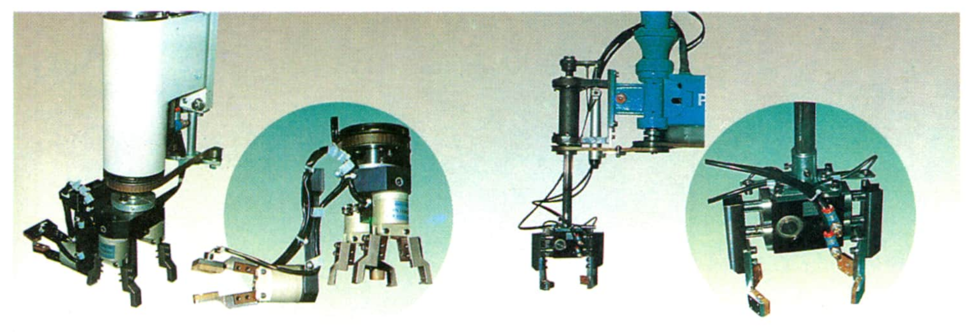
La unidad que se utiliza para medir la presión es el *bar* (1 bar $= 10^5 N/m^2$), (N = Newton, m = metro). Los valores de la presión utilizados con más frecuencia en los robots son:

a) Menos de 50 bares, para el mando de pequeños utillajes.
b) Entre 50 y 150 bares, para operaciones de corte, posicionamiento, etc.

c) Hasta 300 bares, para operaciones de elevada potencia, como empujes para deformación de materiales, compresión, remachados de potencia etc.

En realidad, la presión que se puede alcanzar mediante un dispositivo hidráulico, solamente está limitada por la resistencia mecánica de los materiales que lo forman.





Diferentes tipos de manipuladores para robots industriales de accionamiento hidráulico o neumático. Cada aplicación requiere un tipo de manipuladores específicos. (Cortesía: Nitto Jagoni.)

Un factor muy importante a tener en cuenta en los dispositivos hidráulicos es la viscosidad del fluido. La viscosidad provoca pérdidas de energía debido al rozamiento entre los estratos de fluido al desplazarse uno respecto a los otros existentes en sus proximidades. Puede lograrse una considerable disminución de las pérdidas debidas a la viscosidad mediante una combinación adecuada de varios factores como son por ejemplo, adoptar una velocidad razonable de los émbolos y órganos de movimiento impulsados por el fluido, (por ejemplo entre 5 y 15 m/s); usar

canalizaciones de gran sección; disminuir en lo posible la longitud de las conducciones; evitar los cambios bruscos de sección de un conductor, etc.

Otro factor importante de pérdidas es la falta de estanqueidad de la instalación hidráulica. La mala calidad de algunos materiales utilizados provoca a la larga una elevada pérdida de rendimiento y, con ello, de rentabilidad del sistema.

Los líquidos utilizados en un dispositivo hidráulico deben cumplir una serie de propiedades para poder ser usados con

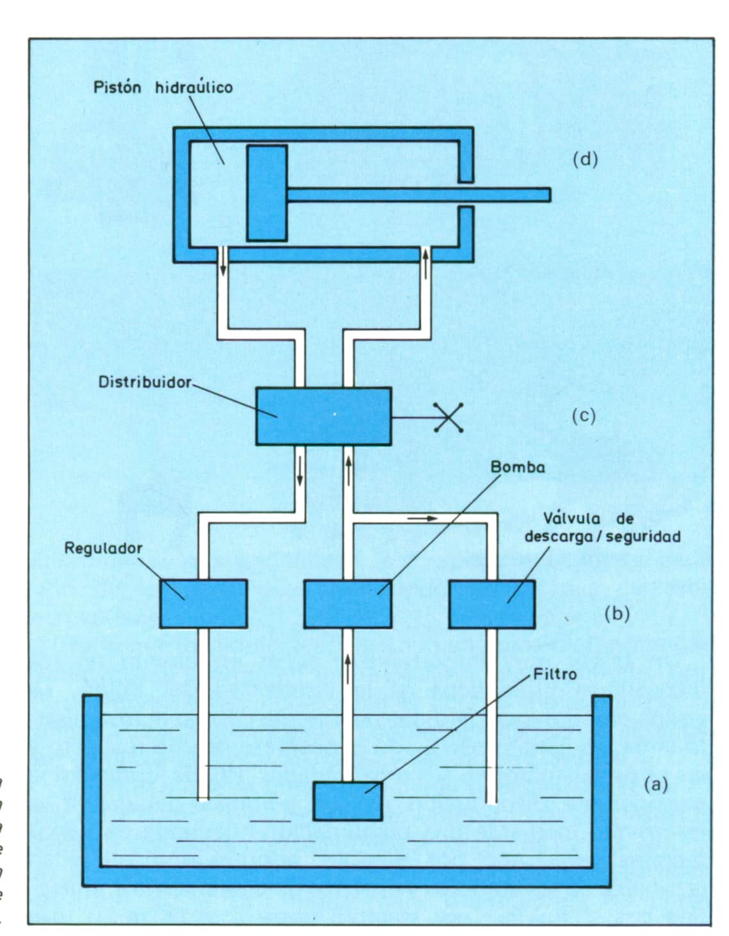
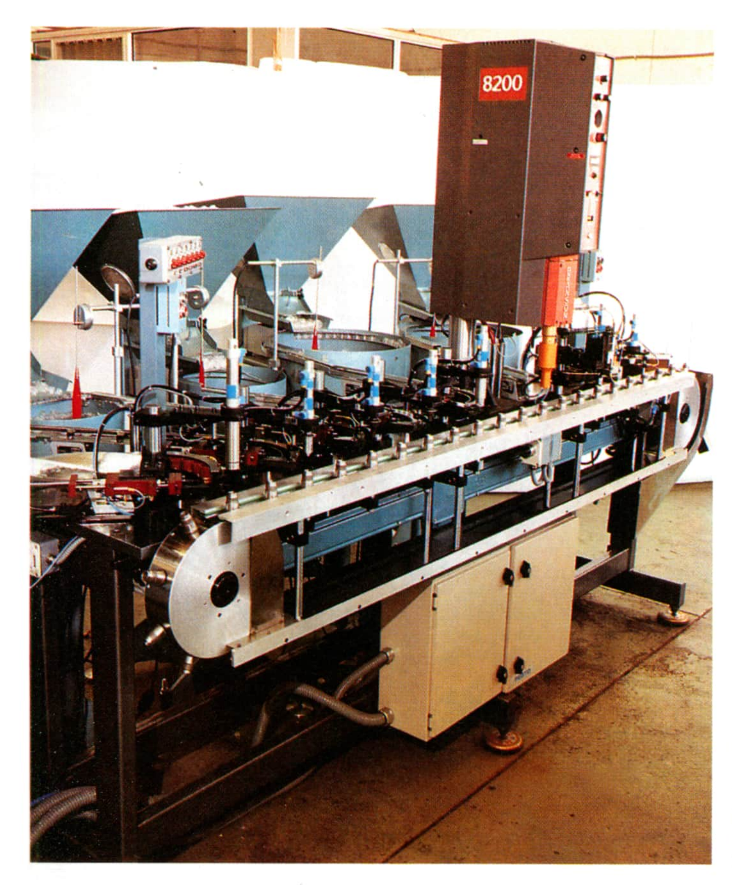


Figura 25. Estructura básica de una instalación hidráulica. Toda la presión del líquido viene controlada por el pistón que se observa en la parte superior.

eficacia a saber: mantener una adecuada estabilidad física y química, tener una baja viscosidad, ser lubricantes respecto a los sistemas de ajuste mecánicos y, en fin, cumplir aquellos requisitos específicos que se pueden demandar para cada aplicación determinada.



Máquina automática que sigue secuencias lineales tipo EML, para el montaje de grandes series de tapones irrellenables. (Cortesía: Emin, S.A.).

Los líquidos más usados en los dispositivos hidráulicos son el agua, los aceites y las siliconas. Otros materiales especializados no se enuncian aquí por tratarse de soluciones muy concretas y no ser de uso general.

Evidentemente, la utilización de dispositivos hidráulicos

exige una instalación apropiada. La estructura básica de este tipo de instalaciones es la siguiente:

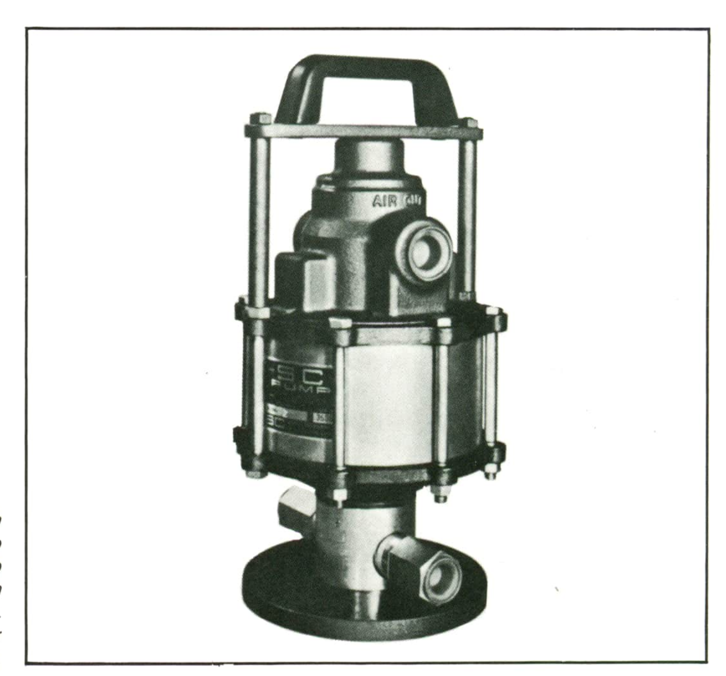
a) Depósito, con sus correspondientes canalizaciones de entrada y salidas.

b) Generador de presión, con su correspondiente bomba.

c) Aparatos auxiliares, distribuidores, válvulas, rácores, reguladores de presión, filtros, manómetros, válvulas de seguridad, etc.

d) Organos de transmisión, como motores, pistones, etc.

Puede verse un esquema de este tipo en la figura 25).



Elevador de presión hidráulico para agua o aceite. Este modelo proporciona una presión entre 2 y 4.900 kg/cm^2. Fabricado por SC Hidraulic.

A continuación se describen con detalle los aspectos funcionales y constructivos de los pistones, ya que, de entre todos los órganos hidráulicos son los que presentan un mayor número de aplicaciones en los robots como elementos finales de maniobra o actuación. Su versatilidad y flexibilidad es tan elevada que la especialización que han alcanzado los robots en determinadas aplicaciones hubiera

sido muy difícil sin la existencia de estos componentes.

Los pistones

Los pistones son aparatos destinados a convertir la energía hidráulica en energía mecánica. Aquellos dispositivos que puden convertir la energía mecánica en hidráulica, actuando o no de forma reversible, son en realidad generadores de energía hidráulica, pudiéndose considerar como verdaderos motores en el semiciclo de conversión de energía mecánica en hidráulica.

Un pistón o motor hidráulico es un recipiente hermético en cuyo interior hay un émbolo que puede desplazarse. El fluido sometido a la presión proporcionada por un generador, provoca el movimiento del émbolo en el pistón, obteniéndose el movimiento mecánico resultante de dicho empuje.



Máquina automática de concepto flexible tipo EMF, para el montaje y verificación de accesorios para el automóvil. (Cortesía: Emin, S.A.).

Los pistones pueden proporcionar dos tipos de movimiento, uno de traslación y otro de rotación. Los movimientos de traslación son los que se producen por el desplazamiento o

avance rectilíneo del émbolo dentro del cilindro del pistón. El segundo se produce al empujar el fluido un juego de palas o aspas dispuestas en el interior del receptáculo hermético de forma que el movimiento resultante es el giro de un eje, produciendo el consiguiente movimiento de rotación.

Puede imaginar el lector que mediante la combinación de movimientos de rotación y de traslación con elementos hidráulicos de maniobra puede ser alcanzado cualquier punto del espacio y realizar cualquier tipo de movimiento.

Dado que un análisis más profundo de los pistones, elementos de distribución, reguladores, filtros, etc. exigiría una base de conocimientos muy especializados de ingeniería mecánica y de dinámica de fluidos, se ha preferido exponer con sencillez el funcionamiento de los pistones lineales y los rotativos. Ambos constituyen una de las bases de la enorme capacidad de movimientos y esfuerzos que pueden efectuar los robots.

Para finalizar este apartado dedicado a fundamentos de hidráulica es conveniente considerar las ventajas e inconvenientes que aportan las maniobras hidráulicas.

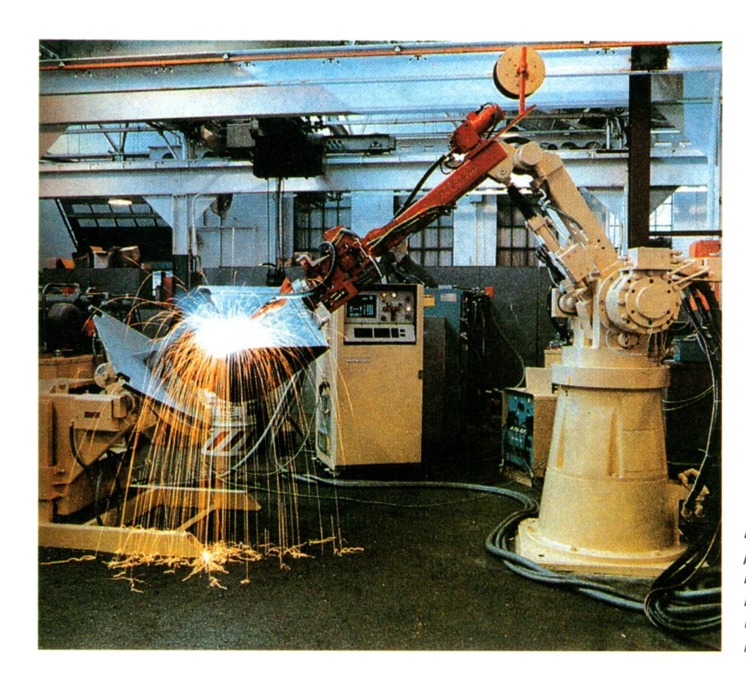
Habida cuenta la práctica incompresibilidad de los fluidos, pueden alcanzarse presiones muy elevadas y, por lo tanto, esfuerzos muy considerables, de forma que se puede dotar a los robots de «músculos» suficientes para realizar grandes esfuerzos si ello es necesario. Debido también a esta incompresibilidad de los fluidos, es muy sencillo regular con precisión la velocidad de los pistones gobernados por este tipo de energía, de forma que se pueden establecer dispositivos de velocidad constante y muy precisa.

En contrapartida, como consecuencia de la viscosidad de los fluidos utilizados en los elementos hidráulicos, la velocidad de los movimientos es considerablemente más baja que los elementos de maniobra eléctricos o neumáticos.

Otro inconveniente, debido a las elevadas presiones que los órganos hidráulicos deben soportar, es la elevada calidad y resistencia de los materiales, por lo que el precio de los elementos hidráulicos suele ser más elevado que el de sus equivalentes neumáticos. Lo mismo ocurre con todo el conjunto de la instalación. Conviene citar, por ejemplo, que mientras los tubos de distribución de aire comprimido suelen ser tubos de PVC, en el caso de conducción de fluido para transmisión hidráulica las canalizaciones suelen ser metálicas y de materiales capaces de soportar elevadas presiones.

ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y CONTROL HIDRAULICO DE LOS AUTOMATISMOS Y ROBOTS

Como se ha expuesto, la existencia de elevadas presiones en el interior de las instalaciones hidráulicas es su característica común y también la más importante.



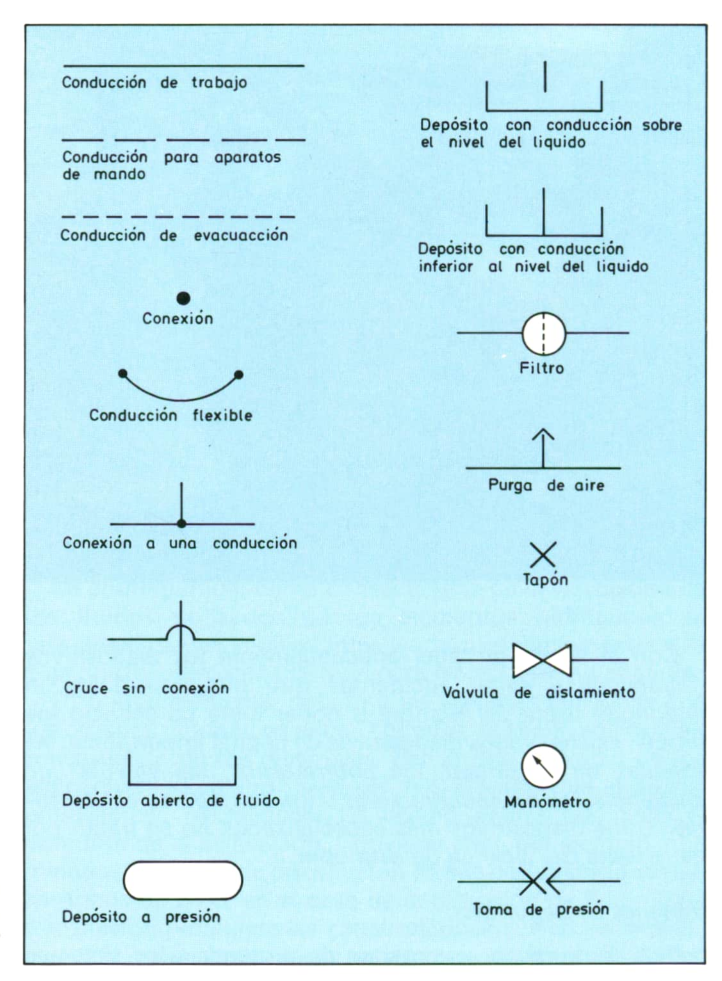
Los robots industriales pueden efectuar labores ingratas y peligrosas ininterrumpidamente, como son soldaduras o mecanizado de piezas.

Con el fin de proteger adecuadamente los dispositivos hidráulicos y evitar accidentes que pudieran dañar la integridad física del hombre o poner fuera de servicio los robots, existen varios dispositivos de capital importancia: las *válvulas de seguridad*, los *antirretornos*, las *válvulas de secuencia*, los *manocontactores* y los *enfriadores calefactores*. Otros dispositivos más especializados no se tratan por estar fuera del alcance de esta obra.

Válvulas de seguridad

Son dispositivos encargados de proteger a los sistemas

hidráulicos de presiones excesivas. La presión normal del fluido en la instalación está soportada en la válvula por un resorte tarado de forma que no admite fugas en condiciones normales de trabajo. Cuando la presión aumenta por encima de los límites establecidos, como consecuencia de un funcionamiento incorrecto, el resorte cede al incremento de presión dejando escapar fluido; ello da lugar a que la presión interna disminuya hasta reestablecerse las condiciones de

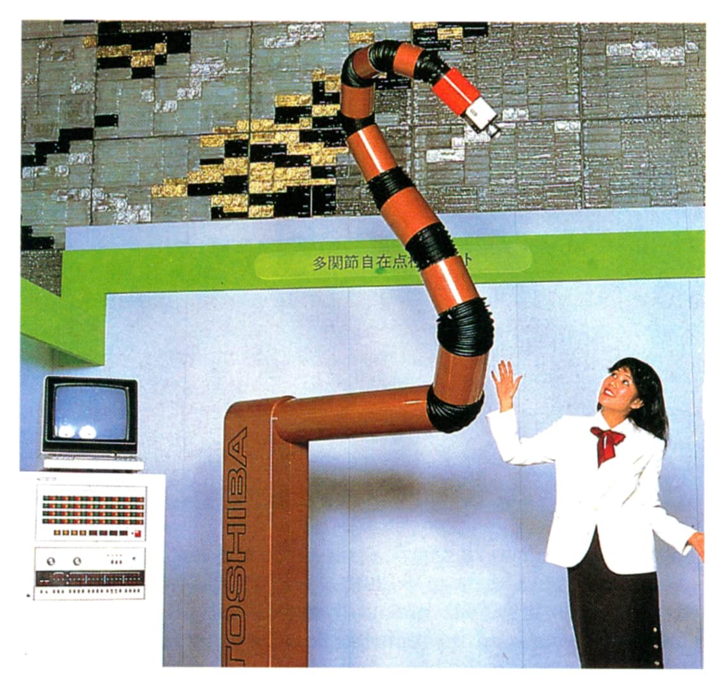


Nomenclatura gráfica normalmente utilizada en los esquemas de instalaciones hidráulicas.

trabajo y el resorte vuelve a cerrar el sistema. Estas válvulas suelen montarse cerca de las bombas hidráulicas.

Sistemas antirretorno

Evitan el paso del fluido en sentido contrario al deseado con ello se eluden maniobras peligrosas o perjudiciales para los dispositivos u objetos que pueda manipular el robot. Estos sistemas llevan incorporado un pequeño émbolo con un resorte de forma que la propia presión hidráulica abre paso al fluido; cuando éste intenta circular en sentido contrario, el resorte se recupera y la presión del fluido en sentido contrario asegura el cierre correcto de la válvula.



Robot dotado de un brazo explorador para ser empleado en zonas peligrosas o de difícil acceso. A la izquierda se observa el armario de control y el monitor, que permite observar las imágenes captadas por el robot de visión.

Válvulas de secuencia

Sirven para controlar las secuencias de funcionamiento de dos o más pistones, asegurando que la operación del

segundo, por ejemplo, no se inicie antes de la finalización de la función que debía efectuar el primero.

Manocontactos

Son dispositivos que proporcionan una señal eléctrica cuando se sobrepasa, por máxima o mínima, unos determinados valores de la presión hidráulica prefijados en antemano. Un resorte es el encargado de transmitir la presión a un biestable mecánico, convenientemente tarado, de forma que a partir del momento en que se alcanza el valor establecido, dicho biestable pasa a su otra posición, cerrando por ello los contactos de un circuito eléctrico cuya señal puede ser aprovechada para, por ejemplo, detener el sistema generador de presión, proporcionar una señal de alarma acústica u óptica, etc.

Enfriadores calefactores

Son aparatos destinados a mantener, dentro de los márgenes óptimos de funcionamiento, la temperatura del fluido utilizado en los dispositivos hidráulicos de la instalación considerada. Estos dispositivos tienen una gran importancia en la optimización del rendimiento y en la prevención de averías por esfuerzos anormales debido al estado físico del fluido. En el caso de que el fluido fuera un aceite, la temperatura óptima de funcionamiento oscilaría entre 30 y 40°C, debiendo refrigerarse al alcanzar los 60°C y calentarse al llegar a 15°C con el fin de disminuir su viscosidad.

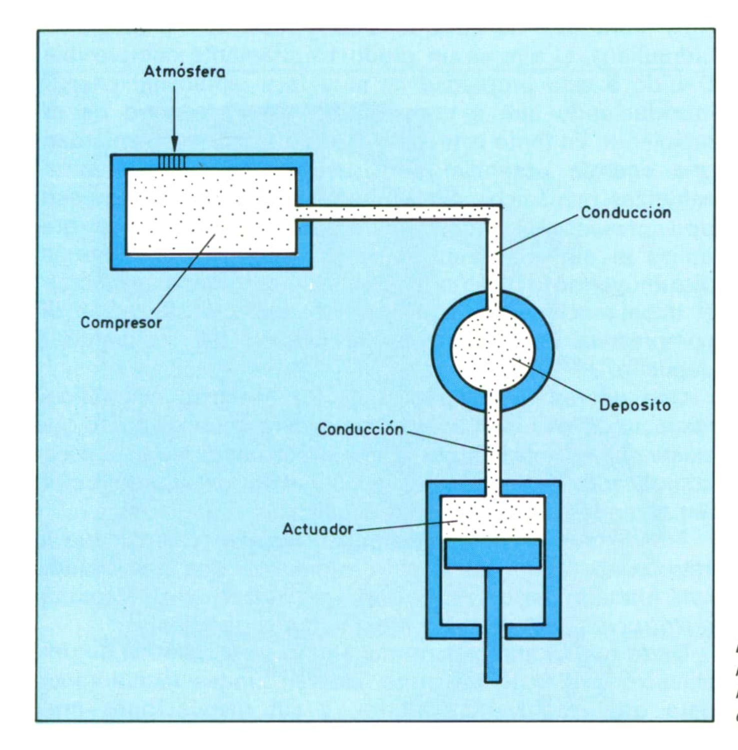
ELEMENTOS DE MANIOBRA NEUMATICOS

La neumática es la técnica que utiliza el aire comprimido como fuente energética para producir trabajos mecánicos. Aunque, la similitud con la hidráulica es evidente, las diferencias entre ambas técnicas son también considerables.

La neumática se emplea en la industria de dos maneras distintas: de una forma *estática* y de una forma *dinámica*.

Si se abre una válvula de paso de aire comprimido y se deja escapar éste a través del orificio de salida, manteniendo constante su presión por la acción de un compresor, este aire comprimido saldrá a una cierta velocidad. Con ello se

obtiene un tipo de energía mecánica llamada energía cinética, que es función del cuadrado de la velocidad ($E = 1/2\ mV^2$). Los usos industriales de esta energía proporcionada por el aire comprimido al dejarlo escapar por un orificio son muy importantes: sistemas de pintura industrial, pulverización, tratamientos superficiales, con



Estructura básica de una instalación neumática, en la que se representan los elementos fundamentales.

chorro de arena, limpieza por aire a presión, etc. Conviene señalar también que en la industria del automóvil se han desarrollado robots especializados en pintura, que usan esta técnica para proceder al pintado de las carrocerías y a la imprimación o métodos de preparación superficial para posteriores tratamientos. Esta es una forma de utilización dinámica del aire comprimido. Es importante destacar que este tipo de uso no es posible en el caso de accionamientos mediante energía hidráulica.

En la utilización estática, si se permite acceder el aire comprimido a un pistón con su correspondiente émbolo, tiene lugar un movimiento, cuyo empuje, función de la presión de la instalación es, como en el caso de los pistones hidráulicos, $F=p \cdot S$, siendo F la fuerza o empuje del émbolo (supuesto libre y sin rozamientos), p la presión de la instalación de aire comprimido y S la sección del émbolo.

Al contrario de lo que ocurre con los dispositivos hidráulicos, el aire es un producto altamente compresible. Debido a esta propiedad es muy fácil almacenar energía introduciendo aire a una elevada presión dentro de un recipiente. En tanto este recipiente no tenga fugas guardará una energía potencial considerable capaz de efectuar esfuerzos mecánicos. Sin embargo, un dispositivo de este tipo presenta el inconveniente de que a medida que utiliza el aire comprimido del interior del recipiente va disminuyendo la presión, y con ello su capacidad de efectuar el trabajo deseado. Por ello es necesaria la utilización de compresores que regeneren la presión del recipiente o depósito.

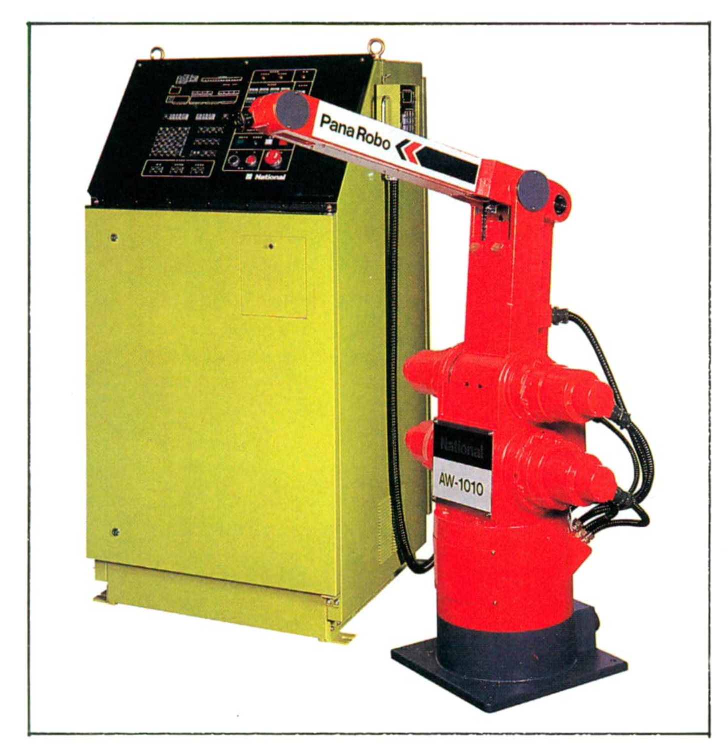
Una diferencia importante de los sistemas neumáticos respecto de los hidráulicos es que el aire es un producto que existe en la atmósfera por lo que no es necesario establecer complicados sistemas de recuperación del fluido como requieren las instalaciones hidráulicas.

Tras esta explicación preliminar, resulta evidente que la estructura de una instalación mínima de aire comprimido está formada por un *compresor*, *un depósito*, un *sistema de distribución* y los *accionamientos* correspondientes.

Dado que la compresión del aire va acompañada de una elevación de la temperatura, existen límites tecnológicos para obtener razonablemente, y sin instalaciones muy costosas, la presión óptima en las aplicaciones neumáticas. Las compresiones alcanzadas habitualmente para usos industriales oscilan entre los 6 y 7 bares. Si se desean obtener compresiones más elevadas será preciso enfriar el aire a medida que se va comprimiendo. Este tipo de compresión por etapas garantiza la posibilidad de alcanzar unos valores más elevados, aunque a un mayor coste, aspecto por el que deja de ser rentable salvo para aquellas aplicaciones especializadas que exijan estos requisitos.

Habida cuenta que en los dispositivos neumáticos la presión no es, con mucho, tan elevada como en los casos de

los dispositivos hidráulicos, es preciso cuidar con especial atención las conexiones en las distintas canalizaciones ya que, en caso contrario, cualquier pérdida de presión disminuye enormemente la eficacia y rendimiento del sistema. En los sistemas neumáticos se presentan ligeras pérdidas de energía por la baja viscosidad del aire, permitiendo que los dispositivos accionados con aire comprimido



Robot de la firma japonesa National. También en el sector de la robótica, los japoneses han cosechado grandes éxitos, ocupando el primer puesto mundial en la fabricación y aplicaciones de robots industriales.

puedan trabajar a elevadas velocidades, alcanzando, incluso, los 100 m/s. Recuérdese al respecto que los dispositivos hidráulicos son considerablemente más lentos. A pesar de esta considerable ventaja, los accionamientos neumáticos presentan el inconveniente de la compresibilidad del aire; para una presión dada la velocidad del accionamiento o pistón no será constante ya que según sea la resistencia del

émbolo al empuje del aire, éste se comprimirá, y no transmitirá el movimiento de una forma regular y uniforme. Es más, cuando las velocidades de accionamiento deban ser bajas, se obtendrá, muchas veces, un movimiento sincopado que resultará absolutamente perjudicial según el tipo de utlización que se pretenda.

Las necesidades de estanqueidad en los dispositivos neumáticos son también muy importantes, aunque por trabajar con sistemas de compresión que utilizan el aire como fluido transmisor de movimiento el hecho es generalmente menos grave o molesto que en el caso de fugas de aceite por ejemplo.

Aunque el aire es el elemento que utilizan los dispositivos neumáticos para proporcionar el empuje necesario que permita algunos movimientos o maniobras en los robots, este aire, tal como se toma de la atmósfera, debe ser sometido a un proceso de acondicionamiento previo. El aire, como es sabido, no está seco en la atmósfera, su alto grado de humedad sería enormemente perjudicial para todos los dispositivos e instalaciones si no fuera eliminado; esta deshumidificación del aire comprimido se efectúa mediante filtros deshidratadores, purgas o puntos bajos de canalización en los que se concentrará el agua y podrá evacuarse mediante la apertura de los correspondientes grifos o válvulas de cierre. El aire debe quedar desprovisto de impurezas para lo cual se aplican a sus canalizaciones sistemas de filtrado que las retienen, evitando que alcancen partes móviles que pudieran dañarse. El aire comprimido debe efectuar también una acción de lubricación, para lo cual, el propio aire comprimido arrastra las microgotas de aceite en suspensión, lubrificando todos los sistemas mecánicos sometidos a fricción y movimiento.

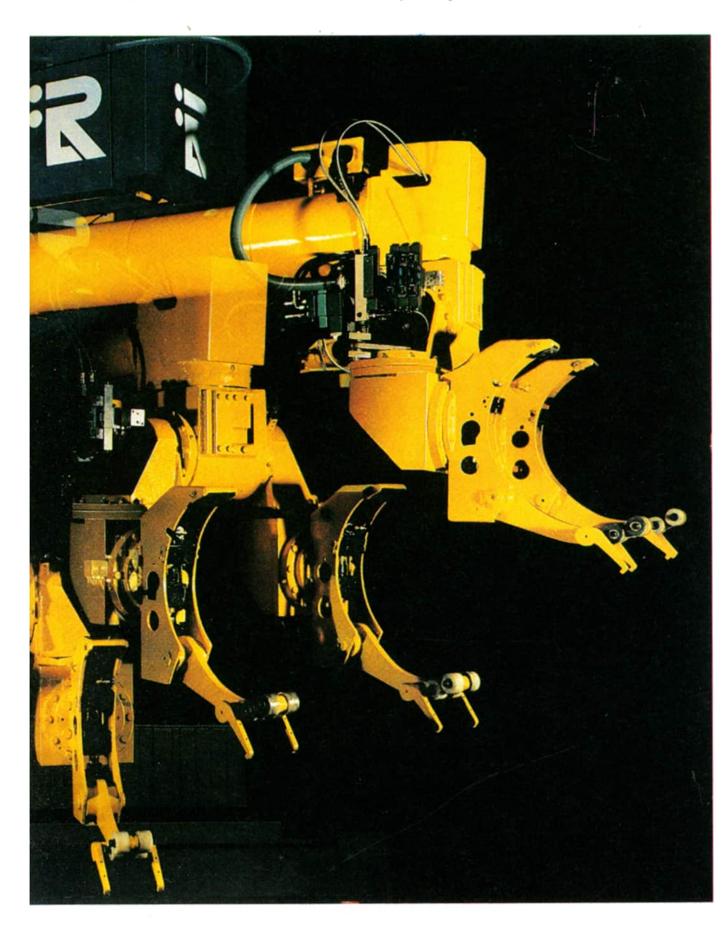
Finalmente, cuando el aire comprimido es evacuado a la atmósfera, se le hace salir a través de silenciadores para evitar ruidos molestos. La utilización del aire comprimido requiere una instalación adecuada que permita aprovechar sus cualidades. En los robots, el acondicionamiento previo es más importante, si cabe, por la elevada productividad que luego se le exigirá y por el elevado coste horario del sistema, si éste debe estar parado por alguna avería.

El compresor

Es el aparato encargado de tomar aire de la atmósfera y

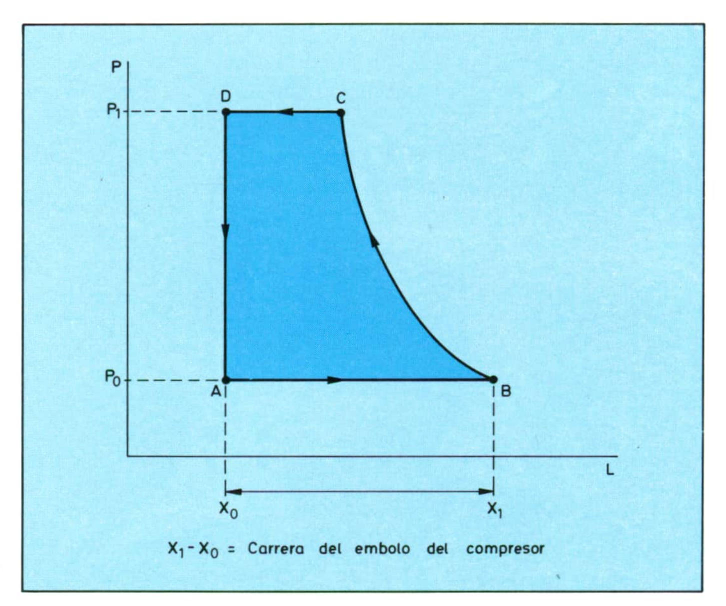
comprimirlo dentro de un depósito de reserva. Los compresores van equipados con un motor, habitualmente eléctrico en los robots, aunque también puede ser de combustión en instalaciones urbanas o en edificios. Los compresores pueden ser alternativos, rotativos, centrífugos o de otro tipo, según sea su procedimiento de compresión.

En los sistemas de uso industrial, el depósito de almacenamiento mantiene dispositivos de detección manométrica que ponen en marcha o paran el compresor cuando la presión, dentro de dicho depósito, alcanza respectivamente los valores mínimos o máximos prefijados.



Robot industrial especialmente diseñado para manipular pesadas vigas, bidones y flejes metálicos. (Cortesía: Robots Tarragona).

Además de este tipo de equipamientos, tal y como se ha explicado, existen los depósitos de aire comprimido o bombonas. Este elemento es especialmente útil cuando el consumo es pequeño; en estos casos el aire se licúa y un regulador o estabilizador lo deja fluir de forma homogénea y a una presión estable hasta su total agotamiento. Este tipo de sistemas es utilizado también cuando, por requerimientos especiales de pureza del aire, se pretende evitar la influencia posiblemente, perniciosa, de una instalación general en determinados componentes delicados del robot.



Ciclo teórico que sigue un compresor neumático.

Los dispositivos de accionamiento o maniobra

Son los responsables de transformar la energía neumática en energía mecánica. Como en los dispositivos hidráulicos, los pistones son los encargados de esta transformación; los hay de traslación y de rotación cuyo principio y funcionamiento fueron explicados antes.

Dentro de esta familia existen además, rácores, válvulas, reguladores de presión, filtros, deshidratadores, engrasado-

res, manómetros, válvulas de seguridad, manocontactos, etc.

Como en el caso de los dispositivos hidráulicos se van a estudiar con más detalle los dos equipos de elementos más usados en las maniobras realizadas por robots: los conductos de canalización y los pistones.

El primer factor a considerar al tratar la problemática de las conducciones de aire comprimido es el de la sección de dichas canalizaciones, cuyo valor es función del gasto máximo de aire comprimido y de la velocidad de circulación de éste. En cuanto a los materiales usados en estas canalizaciones, habida cuenta que las presiones no son elevadas, son frecuentes los tubos de PVC y otros materiales plásticos en sustitución de los antiguos tubos de cobre o latón de poco espesor.

Se procurarán evitar, siempre que ello sea posible, los acodamientos o estrangulamientos en las conducciones porque el rozamiento ocasiona importantes pérdidas energéticas.

La estanqueidad deberá cuidarse de forma especial, tal y como ya se ha expuesto con anterioridad. Las purgas deben hacerse con la periodicidad adecuada, para lo cual se habrán previsto los oportunos accesos en los puntos bajos de las canalizaciones.

La canalización principal deberá estar ligeramente inclinada hacia abajo, en el sentido del desplazamiento del aire, para facilitar de esta forma el decantamiento del agua y de los restos sólidos que pueda transportar el aire.

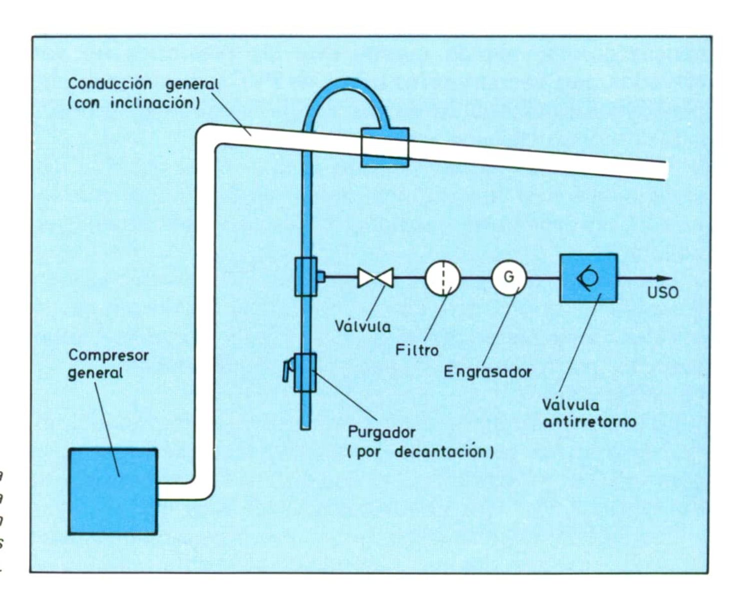
Los acodamientos hacia las instalaciones secundarias deberán preverse siempre saliendo hacia arriba para volver luego a descender, con el fin de evitar que el agua y los restos sigan circulando hacia ellas y hacia los dispositivos de accionamiento en los robots. En cuanto a los pistones, están constituidos por un recipiente cilíndrico y un émbolo, de forma similar a los hidráulicos, aunque construidos generalmente en materiales más ligeros y menos resistentes, obteniéndose con ello un menor coste.

Según su funcionamiento, los pistones de traslación pueden ser de simple o de doble efecto.

Los *pistones de simple efecto* son aquellos en los que el impulso neumático se efectúa en un solo sentido y la recuperación del émbolo se efectúa por un resorte, evacuando el aire a través de una válvula unidireccional.

En los *pistones de doble efecto* el empuje neumático se

efectúa en los dos sentidos del émbolo por lo que en estos casos se necesitan dos canalizaciones de aire. La estanqueidad de los pistones debe ser asegurada entre el cilindro y el émbolo, tanto en la sección interior de empuje del émbolo como en el vástago de salida al exterior del cilindro, además las juntas de materiales elásticos y de geometrías especiales garantizan una adecuada estanqueidad de todos estos dispositivos.



Representación práctica croquizada de una instalación neumática, en la que aparecen los elementos fundamentales.

Otro factor importante para poder evitar el deterioro de los pistones, a la vez que se evitan ruidos molestos y se mejora el rendimiento, es el amortiguamiento. Puede conseguirse por medios neumáticos, comprimiendo aire encerrado en el final del recorrido, inyectando aire a menor presión o, simplemente, incluyendo algún tope elástico.

Otros aspectos del resto de dispositivos usados en neumática no se tratan por considerarlos objeto de un grado de especialización fuera del alcance de esta obra: distribuidores, sistemas de regulación, sistemas de acondicionamiento del aire, válvulas antirretorno, válvulas de seguridad, silenciadores, válvulas de escape rápido, limita-

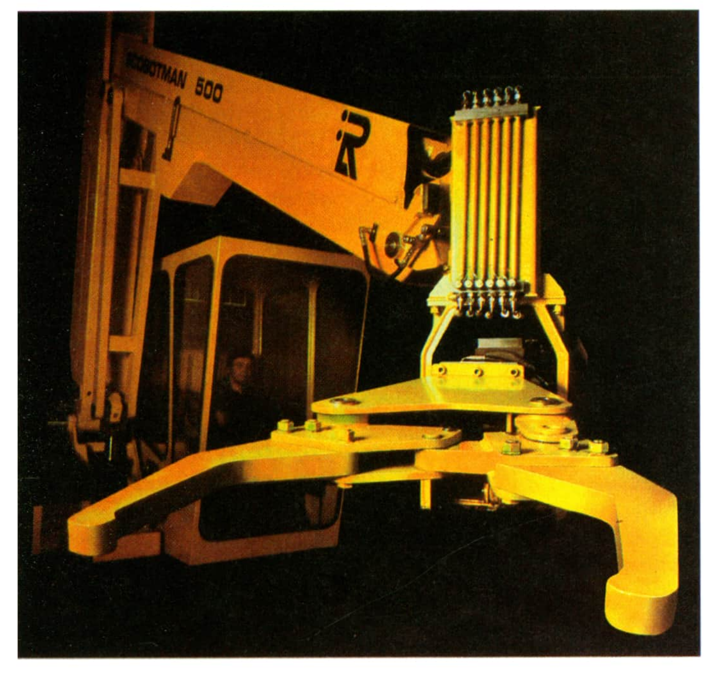
dores de escape, selectores de circuitos neumáticos, etc., son dispositivos también usados en los robots, cuyo funcionamiento y principios son similares a sus homólogos hidráulicos estudiados con anterioridad.

Para finalizar este apartado se relacionan a continuación las ventajas e inconvenientes del acondicionamiento neumático frente a otros tipos que de una u otra forma se han ido exponiendo.

Los sistemas neumáticos pueden ejecutar maniobras a gran velocidad debido al pequeño coeficiente de viscosidad del aire.

Los dispositivos neumáticos, al trabajar a presiones relativamente bajas, son simples, robustos, son de fácil intercambiabilidad y tienen un elevado índice de seguridad de funcionamiento.

El funcionamiento de los dispositivos neumáticos, correctamente dimensionados es muy suave debido a la compresibilidad del aire.



La robótica también puede aplicarse al manejo de piezas mecánicas de gran tamaño, que pueden llegar hasta varias toneladas.
(Cortesía: Robots Tarragona).

El precio de los dispositivos de aire comprimido, así como el coste de las instalaciones, es relativamente bajo comparado con otras energías susceptibles de producir movimiento.

Debido a la utilización del aire como elemento transmisor de energía y a que el aire es un elemento no contaminante, la utilización del aire comprimido, aun en el caso de que existieran fugas, no conlleva ningún problema de polución ni ataque al medio ambiente.

Aun convenientemente realzadas algunas de las ventajas más importantes sobre la utilización del aire comprimido para producir movimiento, este tipo de energía también presenta inconvenientes.

El primero y quizás el más importante es que, al trabajar los dispositivos neumáticos a baja presión debido a la compresibilidad del aire, el esfuerzo proporcionado por el émbolo de los pistones es considerablemente menor que en el caso de la transmisión hidráulica, a pesar de que se utilicen sistemas combinados con cilindros de elevado diámetro. Otro inconveniente, también señalado a lo largo de este libro, es la dificultad de regular convenientemente la velocidad de avance de estos dispositivos.

Otro factor indeseable en la utilización del aire comprimido es el elevado poder destructivo de una explosión ocasional producida en un recipiente que lo contenga, ya que la energía almacenada en la masa de aire del recipiente, transforma los fragmentos de éste en verdaderos proyectiles. Las válvulas de seguridad, convenientemente mantenidas, serán de enorme ayuda en estos casos para evitar peligrosos accidentes.

ELEMENTOS DE MANIOBRA OLEONEUMATICOS

Se han expuesto anteriormente las ventajas e inconvenientes de los sistemas hidráulicos y neumáticos de conversión de energía en movimiento. Los elementos de maniobra oleoneumáticos tratan de conjugar las ventajas de ambas técnicas en una sola.

En los dispositivos oleoneumáticos la presión del aceite se obtiene por la acción de aire comprimido, la bomba hidráulica o generador de presión no es entonces necesario simplificando enormemente la estructura de la instalación. A pesar de esta considerable disminución de la complejidad, la

resistencia y precisión de los materiales utilizados en la oleoneumática resultan tan importantes y costosos como los utilizados en la hidráulica, y por ello igualmente caros.

El empleo de dispositivos oleoneumáticos en los robots está recomendado para aquellos casos en los que el esfuerzo resistente de los pistones está sometido a variaciones considerables, debiendo obtenerse por necesidades funcionales una notable uniformidad de desplazamiento. Hay que recordar que tanto la hidráulica como la neumática aportaban únicamente soluciones parciales a esta problemática. Un ejemplo claro de este tipo de requerimientos se presenta en el caso de operaciones de corte y de precisión.

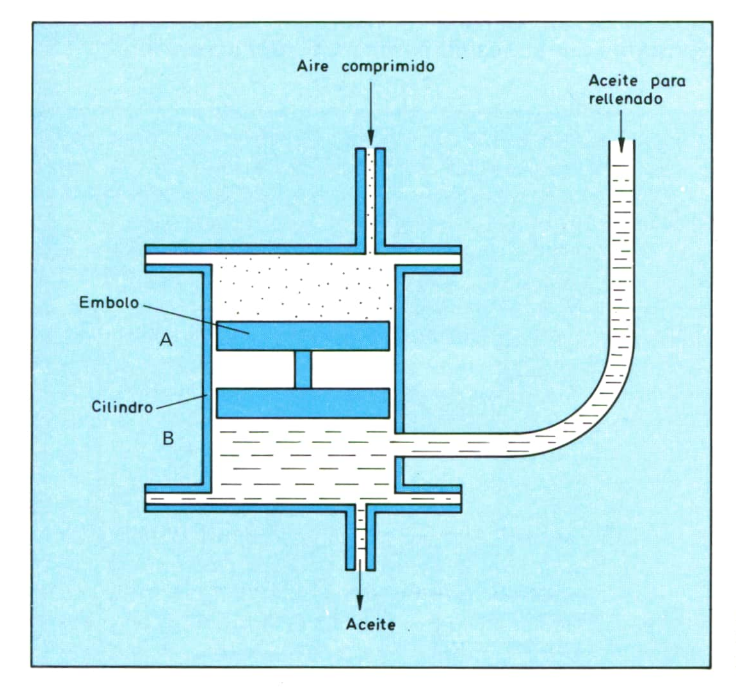


Figura 38. Esquema simplificado de un intercambiador aire/aceite.

Uno de los dispositivos fundamentales en las instalaciones oleoneumáticas es el denominado *intercambiador de presión aire-aceite*. Estos sistemas son los encargados de obtener la presión necesaria de aceite partiendo de la energía proporcionada por el aire comprimido.

Se va a exponer a continuación, de forma sencilla, el principio de funcionamiento de tales dispositivos. Supongamos un cilindro B con un émbolo A bien ajustado y guiado, de forma que sea perfectamente estanco, en la parte superior del mismo se puede aplicar aire comprimido y en la parte inferior aceite que puede ser sometido a presión por la acción de este aire. La presión del aire entre 5 y 7 bares, será convenientemente transmitida al aceite a través del émbolo del pistón. Un conducto lateral de entrada de aceite permitirá rellenar el cilindro cuando aquél vaya circulando hacia la instalación, (figura 38).

El aceite sometido a presión por el procedimiento explicado, es utilizado de esta forma para accionar pistones hidráulicos en los que la velocidad se puede mantener constante por la acción de un regulador apropiado.

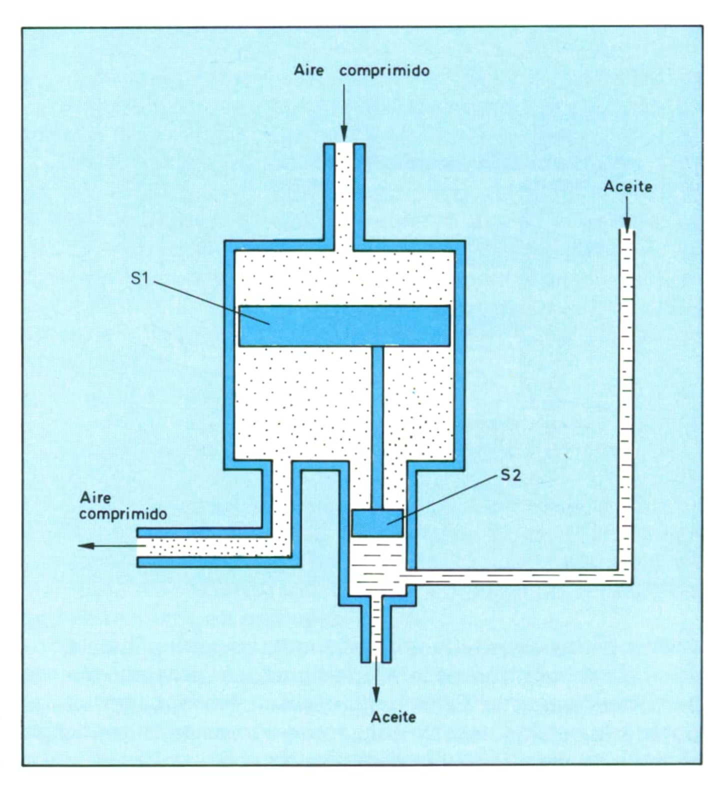


Figura 39. Diagrama esquematizado de un multiplicador de presión oleoneumático.

Otro dispositivo de capital importancia dentro de las instalaciones oleoneumáticas es el *multiplicador de presión*. Su funcionamiento consiste en elevar la presión de un cierto volumen de aceite a una presión superior a la proporcionada por el aire comprimido (figura 39).

Este aparato está construido por dos pistones de diámetro diferentes, el mayor de ellos recibe el aire comprimido y el más pequeño el aceite; un émbolo doble perfectamente ajustado a los dos cilindros transmite la presión del aire al aceite. Con ello, se obtendrán las relaciones siguientes:

$$p_1 \cdot S_1 = p_2 \cdot S_2 = F$$

con lo que la relación de presiones será inversa a la relación de superficies del émbolo doble, o sea:

$$S_1 / S_2 = p_2 / p_1$$

Los reguladores de velocidad son también dispositivos importantes. Una forma sencilla de obtener una función de regulación adecuada consiste en asociar un pistón hidráulico a un pistón neumático, aprovechando el modo de trabajo de ambos.

Un dispositivo de este tipo asocia dos partes, un pistón neumático y un amortiguador hidráulico que frena, total o parcialmente, el recorrido del pistón neumático (figura 40).

El brazo del émbolo lleva los dos topes E y F asegurando el amortiguamiento en los dos sentidos. La retención o freno es obtenida por el paso del líquido por un estrangulador que puede regularse, al tiempo que una válvula unidireccional permite el retorno rápido del émbolo. El recipiente con el aceite constituye la reserva de fluido de la instalación. Un montaje de estas características permite obtener fácilmente un avance rápido, seguido de un avance lento y posteriormente un retorno rápido. Este tipo de maniobra es muy útil en los robots, ya que con ella puede aproximarse con rapidez la cabeza o útil de trabajo al objeto que está siendo procesado, realizar la operación especificada y volver a la situación de espera con considerable rapidez.

Para finalizar la descripción de los dispositivos oleoneumáticos de interés, (no se consideran los pistones, ya sean lineales o rotativos, pues sus principios y funcionamiento son idénticos a los neumáticos o hidráulicos, ya explicados) conviene citar los *acumuladores*. Estos aparatos permiten

acumular una cierta cantidad de energía del fluido considerado, generalmente aceite, obteniéndose dicha acumulación a partir de la compresión de un elemento elástico, que puede ser un resorte, un gas comprimido, etc. El elemento elástico es capaz de restituir, en forma de empuje, la energía almacenada, proporcionando la evacuación del fluido transmisor, accionando de esta forma los elementos de maniobra a que hubiera lugar.

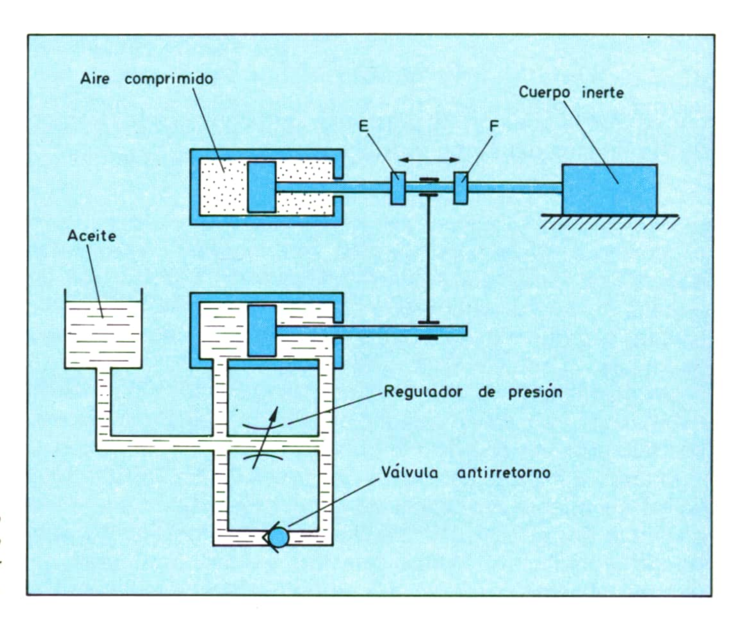
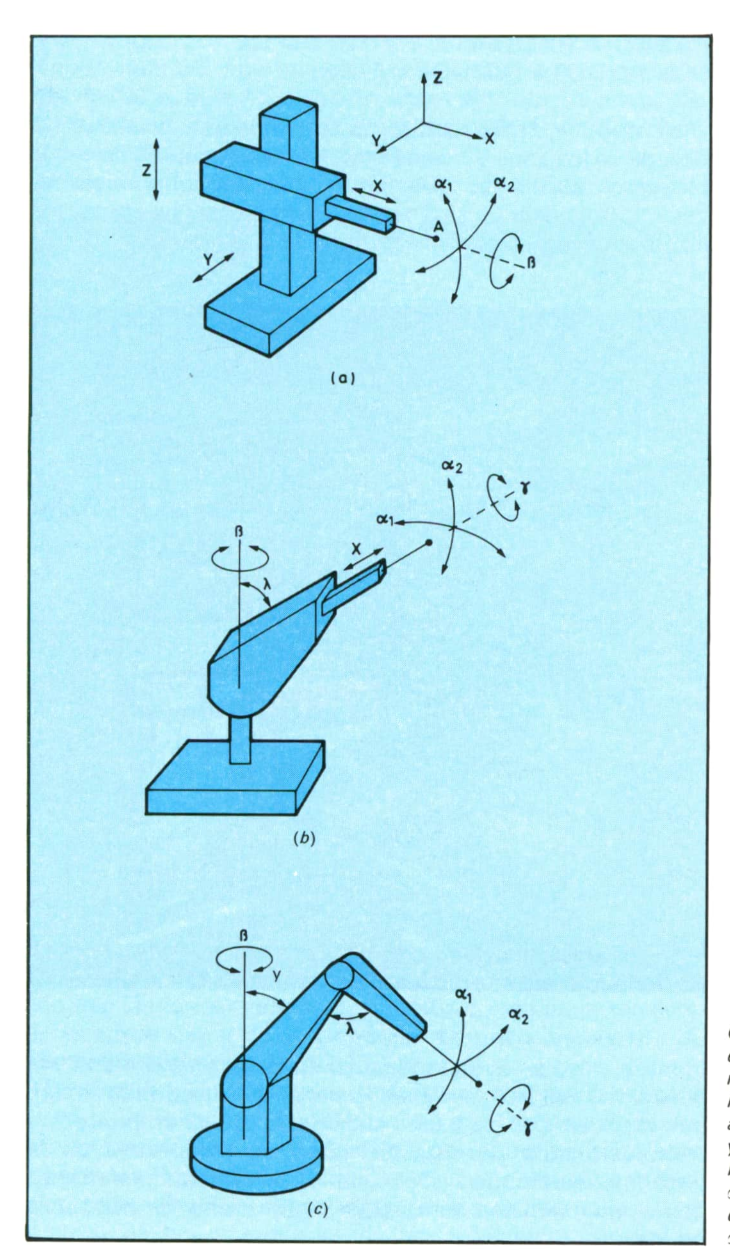


Figura 40. Diagrama esquemático de un amortiguador oleoneumático.

Su principio de funcionamiento es como sigue. El aire comprimido en un cilindro es empujado por un émbolo sobre el que existe una presión determinada proporcionada por aceite; la presión del aire comprimido es en cada instante idéntica a la del aceite; la cantidad de energía acumulada depende, evidentemente, de la presión del aire y del volumen del líquido.

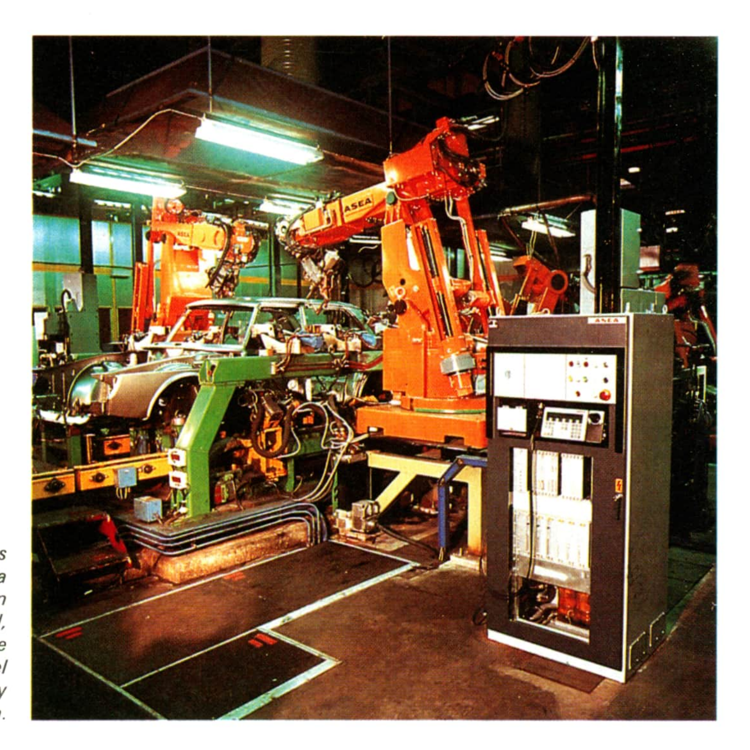
Estos dispositivos se usan para mantener estables las presiones dentro de pistones aun en los casos de existencia de fugas y también como sistemas de frenado de maniobras rápidas.



Croquis de varias estructuras clásicas de robots con 6 grados de libertad de movimiento:
a) Grados de libertad: x, y, z, α_1, α_2, β;
b) Grados de libertad: x, α_1, α_2, β, γ, λ;
c) Grados de libertad: y, α_1, α_2, β, λ, γ.

PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES

La robótica, como técnica, es muy moderna. Nacida en la década de los años 60 como transferencia tecnológica de los proyectos espaciales que requerían «pseudohombres» es decir, robots para un sinfín de pruebas y ensayos en los que no se deseaba poner en peligro la integridad física del



Uno de los campos en los que la robotizacioón se ha hecho más patente es en la industria del automóvil, tanto para la soldadura de la carrocería como para el ensamblado de piezas, y la pintura.

hombre, pasó al terreno industrial de forma ya evidente en la década de los 70, más bien a partir de la segunda mitad, momento en que los países superproductores de productos manufacturados vieron en el robot la perspectiva de la tercera revolución industrial que les permitiera mantener su hegemonía frente a otros países con mano de obra más barata.

La formulación de la robótica como técnica con un soporte teórico riguroso está, en cierta forma, todavía inacabada, si bien toma como bases distintas técnicas de ingeniería especializada que, hasta la proliferación del robot, parecían de todo punto inconexas.



Los robots no siempre son estructuras mecánicas, neumáticas o hidráulicas aplicadas a industrias pesadas. Como se observa en la figura, el reconocimiento de la voz aplicado a varias órdenes de mando, permite a un minusválido controlar el funcionamiento de un automóvil preparado para ello.
Los robots de la próxima generación, dispondrán de «sentidos»: vista, oído y tacto.

La evolución del robot ha sido tan rápida en el tiempo, que dificulta las referencias históricas a su pasado, tal y como el robot es entendido hoy en día; aunque es preciso decir que desde muy antiguo el hombre ha construido artilugios en ocasiones exclusivamente mecánicos, que han sido capaces de hacer alguna tarea simple para la que el hombre los había creado; nos referimos a los «autómatas».

Hay que considerar que hoy día el hombre entiende al robot no como anécdota tecnológica, sino como una máquina capaz de ayudarle en su trabajo cotidiano, sea éste del tipo que sea, y de proporcionar con ello bienestar a él mismo y a sus semejantes.

El robot, hoy en día, se encuentra ya en muchas fábricas y talleres. En torno a él muchas técnicas modernas están evolucionando con gran rápidez. Los robots actuales son capaces de desarrollar prácticamente todos aquellos movimientos imaginables, soportar esfuerzos suprahumanos; son capaces de ver y entender la voz humana a través de

complejos sistemas electroópticos y de transcodificadores sintetizadores de voz. Puede sentir los cambios térmicos, las diferencias de presión, todo ello gracias al rápido desarrollo de los captadores térmicos y manométricos. Prácticamente no hay ningún sentido o percepción de los que está dotado el hombre que no pueda disponer un robot. Con una ventaja adicional: el robot puede ser construido con una especialidad muy potenciada: aquella que va a ser utilizada para desarrollar el trabajo para el cual está creado. En este sentido el hombre está en franca desventaja. Un robot o sistema de robots de los utilizados en las factorías de automóviles para la soldadura de las carrocerías, puede desarrollar su trabajo mejor y más de prisa que un grupo de expertos operarios.

El presente de los robots es ya esplendoroso. Pero no acaba aquí. La progresión tecnológica de los captadores y transceptores hace pensar que muy pronto el hombre podrá «dialogar», entender y hacerse entender por los robots de forma que no será preciso disponer de complicados sistemas de programación, como en la actualidad, para poder comunicarse con estas máquinas. El dotar a los robots de ojos, oídos y voz, son tres objetivos ya alcanzados a nivel de prototipo que podrán ser desarrollados a gran escala en los próximos años.

Los sintetizadores de voz son ya usados en régimen experimental con resultados satisfactorios. La microelectrónica, una de las técnicas que más está progresando en la actualidad, no es ajena a estos avances, por lo que los robots cada vez están dotados de más inteligencia, esto es, de capacidad de memoria para almacenar instrucciones que desencadenarán automáticamente acciones cuando algunos de los estímulos desencadenantes se le presente al robot.

Sólo los errores humanos pueden hacer que estas maravillas de la ingeniería redunden en perjuicio del hombre. Sólo el hombre es capaz de dar al robot las instrucciones de lo que el robot puede hacer. Y solamente si estas instrucciones son incorrectas, puede convertirse el robot en un arma peligrosa contra el hombre. Un robot no puede decidir por sí mismo, si no ha sido programado antes para ello.

El eterno dilema filosófico de que la máquina puede acabar esclavizando al hombre sólo es posible a partir de la consideración de la propia capacidad de equivocarse que tiene el hombre, y no es nunca, por que no puede serlo, voluntad propia de la máquina. ●

